



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISIS KEKUATAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP TARIKAN PUKAT

ENGARTYASTO HARYOYUDHANTO

NRP. 4312100076

Dosen Pembimbing

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Dr.Eng., Yeyes Mulyadi, S.T., M Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



FINAL PROJECT - MO 141326

STRENGTH ANALYSIS OF SUBSEA PIPELINE DUE TRAWL GEAR INTERACTION

ENGGARTYASTO HARYOYUDHANTO

NRP. 4312100076

Supervisors

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Dr.Eng., Yeyes Mulyadi, S.T., M Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2017

ANALISIS KEKUATAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP TARIKAN PUKAT

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan Institut Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

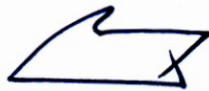
ENGGARTYASTO HARYOYUDHANTO

NRP. 4312100076

Disetujui oleh :

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc.

(Pembimbing I)



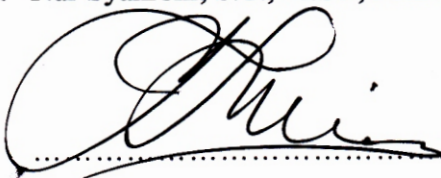
2. Dr.Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

(Pembimbing II)



3. Nur Syahroni, S.T., M.Sc., Ph.D.

(Penguji I)



SURABAYA JANUARI 2017

ANALISIS KEKUATAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP TARIKAN PUKAT

Nama : Enggartyasto Haryoyudhanto

NRP : 4312100076

Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Dr.Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang analisis kekuatan pipa bawah laut terhadap tarikan pukot, meliputi besar gaya dan durasi tarikan dan respon pipa akibat gaya tarik maksimum. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan variasi kecepatan tarik pukot 3 knot, 4 knot, dan 5 knot; dan variasi ketinggian bentangan (H_{sp}) pada pipa 0 m dan 1 m. Permodelan dan analisis elemen hingga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS-*Transient Structural* dan ANSYS-*Static Structural*. Gaya tarik horizontal (F_p) bertambah 50.35% dan gaya tarik vertikal (F_z) bertambah 9.81% pada setiap peningkatan 30% kecepatan. Dan gaya tarik horizontal (F_p) bertambah 49.25% pada perubahan tinggi bentangan sebesar 1m. Sehingga kecepatan tarik papan pukot merupakan parameter signifikan dalam fenomena tarikan pukot pada pipa. Gaya tarik horizontal (F_p) dan vertikal (F_z) terbesar dialami pada kasus pipa dengan tinggi bentangan (H_{sp}) 1m dan kecepatan tarik pukot 5knot, nilainya berturut-turut 109.970 kN dan 893.02 kN. Akibat gaya tarik horizontal (F_p) dan vertikal (F_z) maksimum, pipa mengalami tegangan maksimum sebesar 206.08 MPa dan defleksi maksimum sebesar 0.2094 m. Pipa tidak mengalami fenomena *local buckling*. Karena memenuhi kriteria desain menurut DNV-OS-F101 dengan *Unity Check* (UC) 0.197.

Kata Kunci : Analisis Tarikan, Analisis Kekuatan, Papan Pukot, Free Span

STRENGTH ANALYSIS OF SUBSEA PIPELINE DUE TRAWL GEAR PULLOVER

Name : Enggartyasto Haryoyudhanto
NRP : 4312100076
Department : Teknik Kelautan – FTK ITS
Supervisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc.
Dr.Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

In this study will be discussed about the strength analysis of subsea pipeline due trawl board pullover. the Covering the value of pullover forces and the response of the pipeline due the maximum pullover force. The analysis conducted using ANSYS-Transient Structural and ANSYS-Static Structural. The result shows that 30% increases in velocity result in 50.35% increase in maximum horizontal pullover force and 9.81% increase in maximum vertical pullover force. And 1m increases in span height of the pipeline result in 49.25% increase in maximum horizontal pullover force. Can be concluded that the most significant parameter for trawl board pullover is the speed of trawl boat. The maximum horizontal and vertical pullover force is 109.97 kN and 0.89 kN respectively. The equivalent stress of the pipeline due to maximum pullover force is 206.08 MPa that satisfied the design criteria according to DNV-OS-F101. And the maximum deflection of the pipeline due to maximum pullover force is 0.2094m. In addition, the value of unity check for local buckling also satisfied the design criteria according to DNV-OS-F101 with the value of unity check 0.197.

Keywords : Pullover Analysis, Strength Analysis, Trawl Board, Free Span

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir beserta laporannya dengan baik dan tepat waktu. Laporan ini berisi tentang tahapan proses dan hasil dari tugas akhir penulis. Tugas akhir penulis berjudul Analisis Kekuatan Pipa Bawah Laut Terhadap Tarikan Pukat.

Tugas akhir merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Untuk itu setiap mahasiswa diwajibkan mengangkat suatu permasalahan di lingkungan sekitar sesuai dengan profesi dan perkuliahan yang diambil untuk dijadikan bahasan dalam tugas akhir. Untuk Jurusan Teknik Kelautan khususnya, permasalahan yang diangkat adalah permasalahan yang ada di lingkungan dan teknologi kelautan sesuai dengan materi yang diberikan selama perkuliahan. Penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk beberapa pihak yang bersangkutan atau keperluan penelitian selanjutnya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir dan laporan yang dibuat masih memiliki kekurangan, baik dari pemilihan batasan masalah, pemilihan parameter dan dari sisi penulisan. Kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan oleh penulis, agar menjadi evaluasi guna menghasilkan suatu penelitian dan penulisan yang lebih baik kedepannya. Semoga tugas akhir ini bisa memberikan manfaat untuk orang banyak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama pengerjaan tugas akhir ini, diantaranya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran selama pengerjaan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan
3. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc. dan Dr.Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. yang telah menjadi dosen pembimbing dan memberika saran serta masukan selama masa pengerjaan tugas akhir.
4. Seluruh staff pengajar Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan saran dan masukan dalam rangka menyempurnakan tugas akhir ini.
5. Seluruh anggota Laboratorium Perancangan dan Konstruksi Bangunan Laut, khususnya Nabila Arifannisa, Muhammad Auliya Aldi, Moch. Hamzah, Rizqi August, Sandy Ramadhan, Faisal Siswanto, Ridwan Abdullah, dan Zulwaqor Maulana M. yang selalu memberikan saran dan masukan selama pengerjaan tugas ahir ini.
6. Teman-teman angkatan 2012 “VARUNA” Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan bantuan dan dukungan pengerjaan tugas akhir ini sehingga bisa selesai tepat waktu.
7. Seluruh angkatan yang ada di Jurusan Teknik Kelautan (2015, 2014, 2013, 2011, 2010, 2009, 2008, dan 2007) yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini.
8. Seluruh karyawan Jurusan Teknologi Kelautan FTK ITS atas bantuan administrasi yang diberikan kepada penulis.
9. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	4
1.3. TUJUAN PENELITIAN	4
1.4. MANFAAT PENELITIAN.....	4
1.5. BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.2. DASAR TEORI.....	9
2.2.1. Jenis-Jenis Pukat (<i>Trawl</i>)	9
2.2.2. Papan Pukat (<i>Trawl Board</i>).....	12
2.2.3. Interaksi Pukat dengan Pipa Bawah Laut.....	14
2.2.4. Gaya Tarik dan Durasi Tarikan Pukat Pada Pipa	15
2.2.5. Tegangan Pada Pipa	17
2.2.6. Bentangan (<i>Free-Span</i>) Pada Pipa	19
2.2.7. Kriteria Desain	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1. DIAGRAM ALIR (<i>FLOW CHART</i>)	29
3.2. PENJELASAN DIAGRAM ALIR.....	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	33
4.1. PENGUMPULAN DATA.....	33
4.1.1. Data Pipa	33
4.1.2. Data Kapal Pemukat	34
4.2. PERHITUNGAN DIMENSI DAN BERAT PAPAN PUKAT.....	35
4.2.1. Dimensi Papan Pukat.....	35
4.2.2. Berat Papan Pukat	36
4.2.3. Ketebalan Papan Pukat.....	36
4.3. ANALISIS TARIKAN (<i>PULL-OVER</i>).....	37
4.3.1. Asumsi Dalam Analisis	37
4.3.2. Permodelan	38
4.4. IDENTIFIKASI PARAMETER YANG PALING SIGNIFIKAN	40
4.4.1. Hubungan Kecepatan dan Gaya Tarik Papan Pukat.....	40
4.4.2. Hubungan Ketinggian Bentangan dan Gaya Tarik Papan Pukat.....	42
4.5. BEBAN TARIKAN MAKSIMUM.....	44
4.5.1. <i>Screening</i> Beban Tarik Maksimum	44
4.5.2. Validasi Beban Tarikan	45
4.6. ANALISIS KEKUATAN PIPA	45
4.6.1. Kondisi Pembebanan	45
4.6.2. Permodelan	45
4.6.3. Respon Pipa Terhadap Tarikan Papan Pukat	46
4.7. CEK KRITERIA DESAIN.....	49
4.7.1. Cek Tegangan Von-Mises	49
4.7.2. Cek <i>Local Buckling</i>	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1. KESIMPULAN	51

5.2. SARAN	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Data jumlah kapal pemukat	3
Tabel 2.1. <i>Summary of Trawl Impact, Pullover, and Hooking</i>	7
Tabel 2.2. <i>Load Effect Factor Combination</i>	23
Tabel 2.3. <i>Material Resistance Factor</i>	24
Tabel 2.4. <i>Safety Class Resistance Factor</i>	24
Tabel 4.1. Data Pipa Milik Total E&P Indonesia Sisi Nubi Production Separation (SNPS)-Manifold Wellhead Production Separation (MWPS).....	33
Tabel 4.2. Ukuran Utama Kapal Pemukat Bali Raya	34
Tabel 4.3. Detail Mesin Utama Kapal Pemukat Bali Raya	35
Tabel 4.4. Dimensi Utama Papan Pukat	36
Tabel 4.5. Hubungan Ketebalan-Ukuran Papan Pukat	37
Tabel 4.6. Perilaku Respon Pipa dengan Bentangan	38
Tabel 4.7. <i>Screening</i> Beban Tarik Maksimum	44
Tabel 4.8. Validasi Beban Tarikan	45
Tabel 4.9. Input Beban	45
Tabel 4.10. Kondisi batas dalam analisis	46
Tabel 4.11. Hasil Cek Kriteria Desain Tegangan sesuai DNV-OS-F101	49
Tabel 4.11. Hasil Cek <i>local buckling</i> sesuai DNV-OS-F101	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Interaksi antara perlengkapan pukat dan pipa bawah laut	2
Gambar 1.2. Lokasi pipa bawah laut	3
Gambar 2.1. Konfigurasi <i>beam trawl</i>	9
Gambar 2.2. Konfigurasi <i>otter trawl</i>	10
Gambar 2.3. Konfigurasi <i>twin trawl</i> dengan pemberat	11
Gambar 2.4. Konfigurasi <i>twin trawl</i> dengan pemberat	11
Gambar 2.5. Bentuk tipikal papan pukat berbentuk persegi.....	12
Gambar 2.6. Beban tarikan per-satuan waktu.....	16
Gambar 2.7. Tegangan melingkar dalam pipa akibat tekanan internal (p_i) dan eskternal (p_o).....	17
Gambar 2.8. Tipe <i>Span</i>	20
Gambar 2.9. Skenario <i>pipeline free span</i>	20
Gambar 2.10. Tipe beban pada <i>free span</i>	21
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 4.1. Lokasi Pipa Milik Total E&P Indonesia Sisi Nubi Production (SNPS)-Manifold Wellhead Production Separation (MWPS).....	34
Gambar 4.2. Permodelan analisis tarikan ($H_{span} = 0\text{m}$).....	39
Gambar 4.3. Permodelan analisis tarikan ($L_{span} = 20\text{ m}$ dan $H_{span} = 1\text{m}$)	39
Gambar 4.4. Gaya Tarik Horizontal pada Ketinggian Span 0 m untuk setiap variasi kecepatan	40
Gambar 4.5. Gaya Tarik Vertikal pada Ketinggian Span 0 m untuk setiap variasi kecepatan	41
Gambar 4.6. Gaya Tarik Horizontal pada Ketinggian Span 1 m untuk setiap variasi kecepatan	41
Gambar 4.7. Gaya Tarik Vertikal pada Ketinggian Span 1 m untuk setiap variasi kecepatan	42

Gambar 4.8. Gaya Tarik Horizontal dengan kecepatan tarik 3 Knot untuk setiap variasi ketinggian bentangan	43
Gambar 4.9. Gaya Tarik Horizontal dengan kecepatan tarik 4 Knot untuk setiap variasi ketinggian bentangan	43
Gambar 4.10. Gaya Tarik Horizontal dengan kecepatan tarik 5 Knot untuk setiap variasi ketinggian bentangan	44
Gambar 4.11. Permodelan kondisi batas dalam analisis kekuatan pipa	46
Gambar 4.12. Tegangan Maksimum Pipa Bawah Laut (tampilan isometri)	47
Gambar 4.13. Tegangan Maksimum Pipa Bawah Laut (tampilan memanjang)	47
Gambar 4.14. Defleksi Maksimum Pipa Bawah Laut	48
Gambar 4.15. Nilai Defleksi Maksimum Pipa Bawah Laut	48

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Perhitungan Gaya Tarik Papan Pukat
LAMPIRAN B	Cek Kriteria Desain <i>Local Buckling</i>
LAMPIRAN C	Hasil Output Analisis Tarikan Papan Pukat
LAMPIRAN D	Hasil Output Analisis Kekuatan Pipa Bawah Laut

,

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

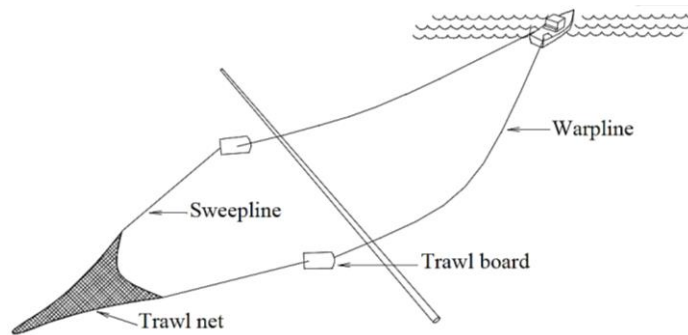
1.1.LATAR BELAKANG

Aktivitas perikanan seperti penarikan pukat dasar laut (*bottom trawling*) harus dijadikan pertimbangan untuk operasional pipa bawah laut sebagaimana industri migas dan industri perikanan terkadang beroperasi di tempat yang sama. Hal ini dikarenakan 2 hal, yaitu kemungkinan bahaya dan gangguan terhadap nelayan apabila perlengkapan pukat (*trawl gear*) tersangkut pada pipa bawah laut, dan kemungkinan bahaya terhadap integritas dari pipa bawah laut karena beban dari perlengkapan pukat. Jalur pipa dengan diameter 16” atau lebih umumnya dibiarkan meletak terbuka diatas dasar laut saat fase operasional (Vervik 2011). Dan khususnya di Indonesia, berdasarkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 Bab II Pasal 13 bahwa dalam hal kedalaman dasar laut 13 (tigabelas) meter atau lebih maka pipa dapat diletakkan didasar laut. Kecelakaan pihak ketiga seperti interaksi dengan perlengkapan pukat atau jangkar saat melewati pipa bawah laut mungkin terjadi.

Salah satu jenis pukat (*trawl*) yang umum digunakan di Indonesia adalah *otter trawl* atau disebut juga pukat harimau. Perlengkapan pukat jenis ini terdiri dari papan pukat (*trawl board*), tali pengikat (*warp line*), dan jarring (*trawl bag*). Dalam interaksi pipa bawah laut dengan pukat, papan pukatlah yang memberikan beban terbesar kepada pipa. Ketika pukat ditarik melewati pipa bawah laut, interaksi antara pipa dan papan pukat yang terjadi berdasarkan DNV-RP-F111 dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

- a. Tumbukan (*impact*) adalah dampak pertama dari interaksi pipa dan papan pukat yang mungkin merusak lapisan (*coating*) atau berakibat lekukan lokal (*local buckling*) pada pipa.
- b. Tarikan (*pull-over*) adalah fase kedua yang terjadi karena perlengkapan pukat menarik pipa. Beban *pull-over* biasanya memberikan respon global pada pipa.

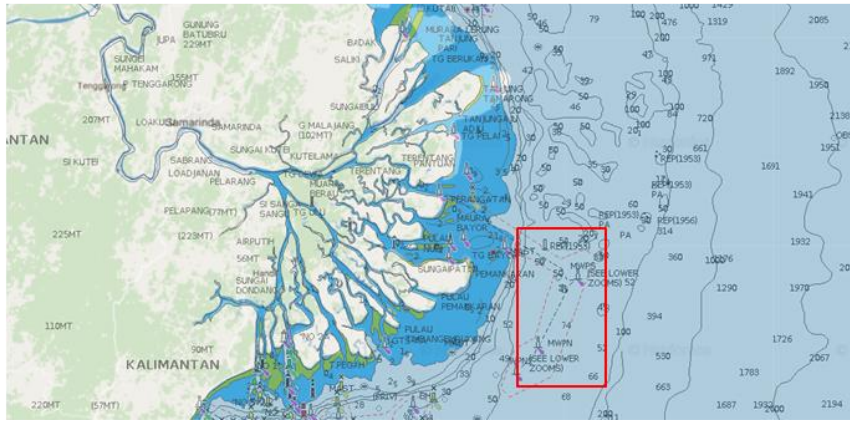
- c. Tersangkut (*hooking*) keadaan dimana perlengkapan pukat tersangkut dibawah pipa, memaksa kapal pemukat untuk berhenti mundur dan mencoba melepaskan perlengkapan dengan menarik tali pengikat. Harus dicatat bahwa saat terjadi *hooking* kapal dapat tertarik kebawah apabila kapal tidak berhenti.



Gambar 1.1. Interaksi antara perlengkapan pukat dan pipa bawah laut
(DNV-RP-F111, 2010)

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang kekuatan pipa milik Total E&P Indonesia, khususnya pipa bawah laut yang kondisinya tidak terkubur (*unburied*) yang menghubungkan antara Sisi Nubi *Production Separation* (SNPS) dengan Manifold Wellhead *Production Separation* (MWPS) terhadap tarikan papan pukat. Lokasi pipa bawah laut KP 9 –KP 13 ditunjukkan pada **Gambar 1.2**.

Fasilitas pipa bawah laut tersebut berlokasi di sekitar Delta Mahakam yang juga terdapat banyak kapal pemukat beroperasi yang jumlahnya mencapai 1753 kapal per-tahun 2005. Berikut data jumlah kapal pemukat yang beroperasi di sekitar Delta Mahakam ditunjukkan pada **Tabel 1.1**.



Gambar 1.2. Lokasi pipa bawah laut

Tabel 1.1. Data jumlah kapal pemukat
(Juliani, 2005)

NO.	LOKASI	JUMLAH UNIT PEMUKAT
1	Tg. Santan	64
2	Kersik	50
3	Semangkok	29
4	Ma. Badak	187
5	Tg. Pimping	78
6	Ma. Kaelli	46
7	Tg. Aju	77
8	Ma. Ilu	18
9	Ma. Pantuan	84
10	Ma. Tambora	11
11	P. Nubi	66
12	Tg. Berkang	110
13	Tg. Berukang	82
14	Tg. Pemarung	27
15	Ma. Ulu	161
16	Tg. Sembilang	195
17	Handil Baru	119
18	Salok Api Laut	24
19	Lamaru	54
20	Manggar	204
21	Saloloang	67
TOTAL		1753

1.2.RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang akan dibahas berdasarkan latar belakang diatas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana besar gaya tarikan papan pukat?
2. Bagaimana respon pipa bawah laut yang terjadi akibat tarikan papan pukat?

1.3.TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar gaya tarik horizontal dan gaya tarik vertikal tarikan papan pukat.
2. Mengetahui tegangan, deformasi, dan perpindahan pipa yang terjadi akibat tarikan pukat dan kesesuaiannya terhadap desain kriteria.

1.4.MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan parameter yang paling dominan dalam mempengaruhi respon pipa akibat tarikan papan pukat. Dan sebagai referensi metode dalam melakukan analisis kekuatan pipa bawah laut terhadap beban eksternal seperti perlengkapan pukat dan jangkar.

1.5.BATASAN MASALAH

Adapun batasan-batasan yang diberikan dalam pengerjaan penelitan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Dasar laut diasumsikan datar.
2. Pipa meletak didasar laut/tidak terkubur (*unburied*)
3. Pipa dalam kondisi operasi.
4. Papan pukat berbentuk persegi.
5. Tenaga mesin kapal pemukat (*trawl boat*) 200 H.P.
6. Panjang bentangan (*span*) pipa 20 m
7. Variasi ketinggian *span* (H_{sp}) 0 m, dan 1 m.
8. Variasi kecepatan tarik papan pukat 3 knot, 4 knot, dan 5 knot.

9. Tanah dimodelkan sebagai benda tegar (*rigid body*).
10. Permodelan dan Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS 16.0-*Transient Structural*.

1.6.SISTEMATIKA PENULISAN

Berikut ini adalah yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini :

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan tentang penelitian sebelumnya dan ulasan umum tentang interaksi pipa-perlengkapan pukat. Dan dijelaskan pula dasar teori tentang ulasan umum perlengkapan pukat, gaya tarik horizontal dan vertikal papan pukat serta durasi tarikan berdasarkan DNV-RP-F111, tegangan pada pipa, kriteria desain pipa, *free-span* pada pipa, dan fenomena tekukan (*buckling*) pada pipa.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini ditampilkan diagram alir (*flow chart*) penelitian dan penjelasan dari langkah-langkah pekerjaan berdasarkan diagram alir.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang perhitungan dimensi papan pukat, permodelan pipa dan papan pukat, analisis dinamis kekuatan pipa secara *time history* menggunakan perangkat lunak ANSYS 16.0 *Transient Structural* dan analisis statis kekuatan pipa terhadap beban titik tarikan papan pukat berdasarkan DNV-RP-F111, dan pembahasan hasil analisis sesuai kriteria desain.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang uraian singkat hasil penelitian, kesimpulan, dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN
DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Interaksi antara peralatan *trawl* dan pipa merupakan salah satu kasus desain terparah untuk sistem pipa bawah laut, karena parahnya tumbukan, tarikan, dan kaitan tidak terdeskripsikan dengan baik oleh industri saat ini. Kerusakan pipa, peralatan *trawl*, dan kapal sangat tergantung pada jenis peralatan *trawl* dan kondisi pipa. Salah satu hal terpenting dalam permasalahan desain pipa untuk menahan peralatan *trawl* ialah membuat deskripsi yang realistis dari beban yang dikenai, waktu kejadian, dan ketahanan pipa (Bai dan Bai, 2014). Analisis yang harus dilakukan pada setiap interaksi peralatan *trawl* ditunjukkan oleh **Tabel 2.1** :

Tabel 2.1. *Summary of Trawl Impact, Pullover, and Hooking*

(Bai dan Bai, 2014)

	Time	Load	Solution	Design Acceptance Criteria	Design Parameters
Impact	Seconds	Mass velocity	Mass-spring system dynamics	Dent damage in pipe < 0.035 OD	Energy absorption capacity of pipe coating
Pullover	Seconds	Time history of horizontal and vertical loads	Time domain dynamics	Allowable moment. Allowable stress-strain	Heights and length of free spans
Hooking	Minutes	Vertical displacement	Static solution	Allowable moment. Allowable stress-strain	Fishing gear frequency free spans

Dalam analisa respon pipa terhadap beban tarik peralatan *trawl*, *tidak terjadi kebocoran* merupakan kriteria kekuatan terhadap *local buckling* dan kepecahan atau deformasi plastis.

Sebelumnya, beberapa Tugas Akhir (TA) telah membahas topik serupa. Pertama Popang (2011) telah membahas tentang penilaian risiko *unburied pipeline* terhadap *trawl gear* dengan kondisi *hooking*. Dalam penelitian ini beban *hooking* didapatkan melalui persamaan beban *snagging*. Dan analisis tegangan dilakukan secara linier.

Prasetyo (2014) telah melakukan penelitian tentang kekuatan pipa bawah laut terhadap beban tarikan jangkar kapal. Penelitian ini dilakukan dengan variasi kecepatan kapal 0-5 knot. Dalam penelitian ini gaya tarik jangkar didapatkan melalui analisis dinamis gerak kapal tertambat. Dan analisis tegangan pipa dilakukan secara statis dan linier.

Nuraini (2015) telah melakukan analisis risiko pipa bawah laut akibat tarikan jangkar. Dalam penelitian ini gaya tarik jangkar didapatkan melalui teori tahanan kapal. Dan dalam mencari konsekuensi akibat tarikan jangkar pada pipa dilakukan analisis tegangan secara statis dan linier.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis kekuatan pipa akibat tarikan pukot berdasarkan DNV-RP-F111. Dan akan dilakukan permodelan elemen hingga untuk melakukan analisis dinamis berdasarkan gaya tarik pukot yang telah didapatkan. Parameter yang akan divariasikan adalah kecepatan tarik pukot dan ketinggian *span* pipa.

Dalam analisis dilakukan variasi pada sejumlah parameter, yaitu kecepatan tarik papan pukot, ketinggian bentangan (*span*), dan koefisien gesek tanah. Variasi kecepatan tarik pukot dimulai dari 3 knot, 4 knot, dan 5 knot. Berdasarkan DNV-RP-F111 kecepatan tersebut dianggap ekonomis bagi operasional penangkapan ikan. Dan untuk variasi ketinggian *span* dimulai dari 0m dan 1m dengan panjang *span* 20m. Dimana menurut DNV-RP-F105 panjang tersebut berada pada pembagian sifat respon bentangan $L/D < 30$, yang mana pada panjang *span*

tersebut mengalami amplifikasi dinamik sangat kecil yang normalnya tidak dibutuhkan pengecekan pada desain kelelahan pipa.

2.2.DASAR TEORI

2.2.1. Jenis-Jenis Pukat (*Trawl*)

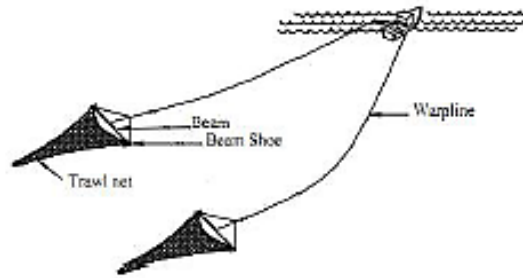
Pukat merupakan metode penangkapan ikan yang penting dalam industri perikanan diseluruh dunia. Kapal yang melakukan proses penarikan pukat ketika kapal menarik jaring ikan dengan bukaan kearah perjalanan. Pukat terdiri dari jaring ikan (*trawl bag*) yang terhubung ke kapal dengan tali pengikat (*warp line*). Terdapat 3 tipe sistem pukat, berdasarkan bagaimana bukaan jaring ikan dipertahankan (Johnsen 2012), yaitu :

- *Beam Trawl*
- *Otter Trawl*
- *Twin Trawl*

Begitu kapal pemukat bergerak maju, air akan melewati sirat dari jaring ikan, sementara ikan dengan ukuran tertentu tidak dapat melewati sirat dan sehingga bisa tertangkap. Pemukatan dapat dilakukan pada semua kedalaman, bergantung dari spesies yang sedang ditangkap (Johnsen 2012).

2.2.1.1. *Beam Trawl*

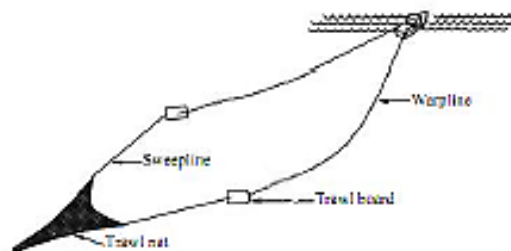
Beam trawl menjaga jaring terbuka dengan gelagar transversal. Hal ini menjaga jaring terbuka pada posisi tetap. *Beam trawl* nomalnya digunakan sepasang dan ditarik menggunakan gelagar pada setiap sisi kapal. Sistem *trawl* ini utamanya digunakan untuk penangkapan dasar laut. Keuntungan besar dari *beam trawl* ialah jaring akan selalu terbuka tanpa mempertimbangkan kecepatan kapal. Namun kekurangannya ialah ketinggian dari bukaan *trawl bag* hanya terbatas 1 m (Johnsen 2012). Berikut penampakan *beam trawl* pada **Gambar 2.1.** :



Gambar 2.1. Konfigurasi *beam trawl*
(Johnsen, 2012)

2.2.1.2. *Otter Trawl*

Otter trawl dilengkapi dengan papan pukat satu disetiap sisi jaringnya. Bukaannya horizontal dijaga menggunakan gaya hidrodinamis di kedua papan pukat. Untuk memastikan penjalaran jaring, maka diperlukan untuk menyambungkan *sweep line* dan *warp line* pada posisi sesuai pada papan pukat. Karena gaya hidrodinamis yang menyebabkan bukaan pada *trawl bag*, kecepatan tinggi dibutuhkan untuk memastikan bukaan dari jaring (Johnsen 2012). Di Indonesia *otter trawl* dikenal juga sebagai pukat harimau atau pukat udang. Berikut penampakan *otter trawl* pada **Gambar 2.2.** :



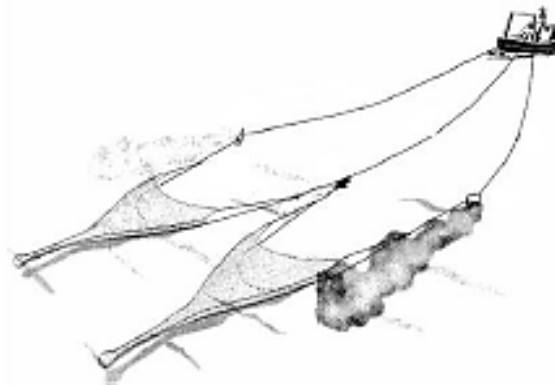
Gambar 2.2. Konfigurasi *otter trawl*
(Johnsen, 2012)

2.2.1.3. *Twin Trawl*

Twin trawl merupakan metode dimana sebuah kapal menarik dua jaring bersebelahan. Ketika menggunakan dua jaring, rasio penangkapan dan efisiensi bertambah. *Twin trawl* terdiri dari pemberat (*clump weight*) diantara kedua jaring. pemberat dan papan pukat menjaga jaring terpisah dan terbuka akibat gaya hidrodinamis. pemberat merupakan perlengkapan pukat paling berat dan normalnya memiliki berat sekitar 2 sampai 9 ton (Johnsen 2012). Konfigurasi *twin trawl* dengan pemberat dapat dilihat pada **Gambar 2.3.** dan **Gambar 2.4.:**



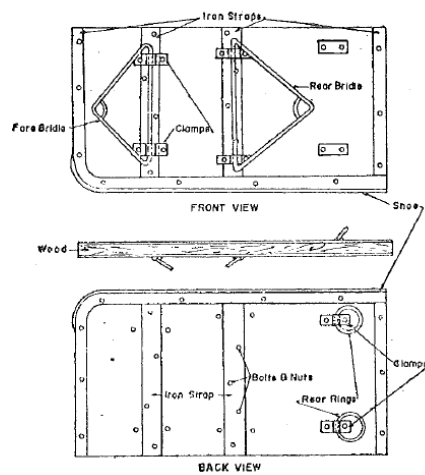
Gambar 2.3. Konfigurasi *twin trawl* dengan pemberat
(Johnsen, 2012)



Gambar 2.4. Konfigurasi *twin trawl* dengan pemberat
(Johnsen, 2012)

2.2.2. Papan Pukat (*Trawl Board*)

Papan pukat (*trawl board*) atau pintu pukat (*trawl door*) merupakan alat untuk menjaga jaring pukat terbuka secara horizontal ketika ditarik. Sementara bentuk konvensional dari papan pukat ialah persegi, *L-shaped*, oval, dan papan hydrofoil juga digunakan untuk beberapa pemukatan dasar laut. Pada bagaian ini akan dibahas secara umum tentang papan pukat berbentuk persegi (Mukundan 1970). Berikut ditampilkan pada **Gambar 2.5.** bentuk tipikal dari papan pukat berbentuk persegi :



Gambar 2.5. Bentuk tipikal papan pukat berbentuk persegi
(Mukundan, 1970)

2.2.2.1. Ukuran Papan Pukat

Hubungan antara ukuran peralatan pukat dengan tenaga yang terpasang pada kapal sangatlah penting untuk penggunaan dari pukat dan memastikan efisiensi maksimum dalam operasi. Aspek ini lebih signifikan pada kapal pemukat berukuran kecil dimana pemasangan mesin bertenaga relatif besar dapat dibenarkan, apabila mereka digunakan secara efektif untuk penangkapan ikan. Beban mesin dan tarikan pukat sangat bergantung pada dimensi propeller dan kondisinya saat bekerja. Estimasi yang akurat dari kualitas tenaga mesin dan pelatan pukat kiranya dibutuhkan untuk penggunaan maksimum dari tenaga

mesin dan menghindari kelebihan beban. Karena tidak ada metode perhitungan yang sah, pemilihan ukuran dari peralatan pukat biasanya berdasarkan garis regresi dengan data yang dikumpulkan dari kapal yang telah ada (Mukundan 1970).

Miyamoto (1958) menginvestigasi ukuran papan pukat yang digunakan oleh beberapa kapal pemukat yang beroperasi di India dan Jepang dan mengusulkan hubungan sebagai berikut :

$$S'' = 0.105P + 4 \quad (2.1)$$

dimana :

S'' = luasan dari papan pukat, ft^2

P = tenaga mesin, H.P. (*Horse Power*)

Koyama (1962) juga menyusun hubungan serupa setelah menganalisa data yang dikumpulkan dari 14 kapal pemukat dengan tenaga mesin terpasang dari 20-2000 H.P.. Persamaan berdasarkan dirinya adalah :

$$S = 0.095P^{0.5} \quad (2.2)$$

dimana :

S = luasan papan pukat, m^2

Perkiraan rasio 2:1 untuk panjang dan lebar biasanya digunakan untuk papan pukat persegi (Miyamoto 1958).

2.2.2.2. Berat Papan Pukat

Berat dari papan pukat ditentukan berdasarkan ukuran dan tenaga mesin yang terpasang pada kapal pemukat. Miyamoto (1958) menemukan bahwa berat papan ialah proporsional dengan tenaga mesin kapal pemukat. Dimana penemuannya dapat diekpresikan dengan persamaan berikut :

$$\text{Sampai dengan 100 H.P.} \quad W = 2.7P \quad (2.3)$$

$$100 \text{ sampai } 660 \text{ H.P.} \quad W = 6.5P - 400 \quad (2.4)$$

2.2.2.3. Material Papan Pukat

Papan pukat umumnya terbuat dari papan kayu atau kayu lapis dengan penguat besi atau baja (Furk 1951; O' Grady 1956; Miyamoto 1959; Nair 1960; Kiyan et al 1963).

Ketebalan papan dan material yang digunakan untuk penguat berbeda sesuai ukuran (Miyamoto 1959; Nair 1960). Biasaya 1.90 sampai 2.54 cm ketebalan papa yang digunakan untuk papan dengan panjang 76.2 sampai 127 cm. 2.54 sampai 3.81 cm ketebalan papan yang digunakan untuk papan dengan panjang 127 sampai 152. Dan 3.81 sampai 7.62 cm ketebalan papan untuk panjang 152 sampai 228 cm (Mukundan 1970).

2.2.3. Interaksi Pukat-Pipa

Perlengkapan yang digunakan pada pemukatan dasar laut dapat mengekspos pipa kepada beban yang cukup besar yang mungkin merusaknya. Seperti beban yang dikaitkan dengan sesaat tumbukan (*impact*) dan tarikan (*pull-over*) selanjutnya ketika perlengkapan pukat mengenai dan tertarik pipa. Selain itu, perlengkapan pukat yang terkait (*hooking*) dapat memberikan beban berarti kepada pipa.

Berdasarkan DNV-RP-F11, interaksi antara *trawl* dengan pipa dibagi menjadi dua tahap : *impact*, dan *pullover*. Dan sebagai kasus khusus *hooking* mungkin terjadi.

2.2.3.1. Fase Tumbukan (*Impact Phase*)

Didefinisikan sebagai tumbukan awal dimana peralatan *trawl* pertama kali mengenai pipa. Peralatan *trawl* dapat berupa *trawl board*, *clump weight*, atau *beam shoe*. Tahap ini normalnya berlangsung seperseratus sekian detik. Ketahanan terhadap gaya tumbukan utamanya dilakukan oleh ketahanan lokal

kulit pipa, termasuk lapisan pelindung.

2.2.3.2. Fase Tarikan (*Pull-Over Phase*)

Didefinisikan sebagai tahap kedua ketika peralatan *trawl* menyeret pipa dengan *warp line*. Tahap ini berlangsung sekitar 1 sampai 10 detik, bergantung faktor-faktor lain dikedalaman air dan tinggi *span*. Fase ini biasanya memberikan respon global pada *pipeline*

2.2.3.3. Fase Tersangkut/Terkait (*Hooking Phase*)

Didefinisikan sebagai keadaan dimana peralatan *trawl* tersangkut dibawah pipa. gaya yang bekerja pada pipa pada kejadian ini sebesar kekuatan putus tali pengikat. Situasi ini jarang terjadi.

2.2.4. Gaya Tarik dan Durasi Tarikan Pukat Pada Pipa

Berdasarkan DNV-RP-F111 Gaya Horizontal Maksimum, F_p , didapatkan melalui persamaan :

$$F_p = C_F V (mk)^{1/2} \gamma \quad (2.5)$$

dimana :

V = kecepatan tarik

m = berat papan pukat

k = kekakuan tali pengikat (*warp line*)

γ = factor beban = 1.3

Koefisien C_F dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_F = 6.6(1 - e^{-0.8\bar{H}}) \text{ untuk papan persegi dan } polyvalent \quad (2.6)$$

$$C_F = 4.8(1 - e^{-1.1\bar{H}}) \text{ untuk papan berbentuk-V} \quad (2.7)$$

dimana :

$$\bar{H} = \text{ketinggian non-dimensional, } \bar{H} = \frac{H_{sp} + \frac{D}{2} + 0.2}{B} \quad (2.8)$$

H_{sp} = tinggi span

D = diameter pipa

Untuk gaya vertikal maksimum bekerja kearah bawah dapat dihitung dengan persamaan:

$$F_Z = F_p(0.2 + 0.8e^{-2.5\bar{H}}) \text{ untuk papan persegi dan } polyvalent \quad (2.9)$$

$$F_Z = 0.5F_p \text{ untuk papan berbentuk-V} \quad (2.10)$$

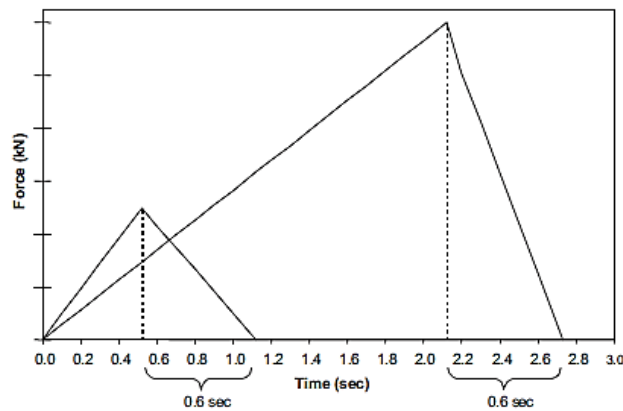
Total waktu tarikan, T , dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_p = C_T C_F (m/k)^{1/2} + \delta_p / V \quad (2.11)$$

dimana :

$$\delta_p \approx 0.1 [C_T C_F (m/k)^{1/2}] \quad (2.12)$$

C_T = koefisien untuk durasi tarikan puk; 2.0 untuk papan puk



Gambar 2.6. Beban tarikan per-satuan waktu
(DNV-RP-F111, 2014)

Waktu jatuh dari papan puk dapat diambil sebagai 0.6s, kecuali waktu total tarikan kurang dari ini, pada kasus tersebut waktu jatuh harus sama dengan waktu total tarikan.

2.2.5. Tegangan Pada Pipa

2.2.5.1. Tegangan Melingkar (*Hoop Stress*)

Tegangan melingkar (*hoop stress*) didefinisikan sebagai tegangan pada dinding pipa bekerja secara melingkar di bidang tegak lurus dengan sumbu longitudinal pipa dan dihasilkan oleh tekanan eksternal dan tekanan fluida dalam pipa (Yohanness 2012). *Hoop stress* dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$\sigma_h = (p_i - p_e) \frac{D - t_{min}}{2t_{min}} \quad (2.13)$$

dimana :

σ_h = tegangan internal

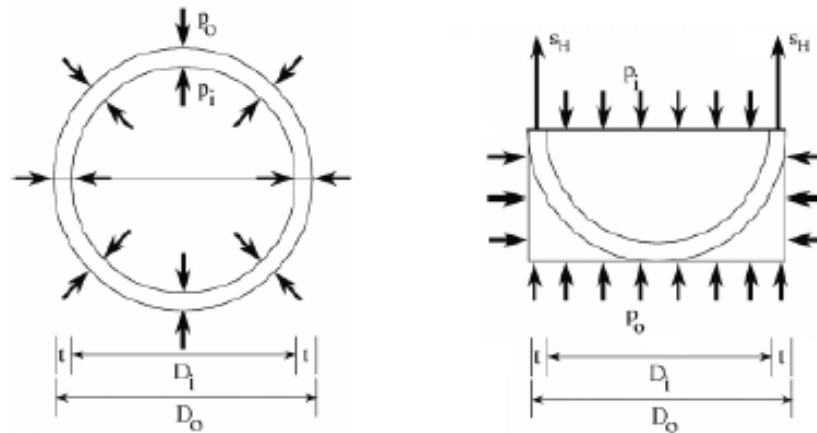
p_i = tekanan internal

p_e = tekanan eksternal

D = diameter pipa

t_{min} = ketebalan dinding pipa minimum

Berikut ilustrasi bagaimana *hoop stress* bekerja ditampilkan pada **Gambar 2.7.** :



Gambar 2.7. Tegangan melingkar dalam pipa akibat tekanan internal (p_i) dan eksternal (p_o)

(Yohanness, 2012)

2.2.5.2. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*)

Tegangan longitudinal merupakan tegangan aksial yang dialami oleh dinding pipa. Tegangan longitudinal terjadi utamanya karena 2 sebab, yaitu : *hoop stress* dan tegangan termis. Selain itu tegangan longitudinal dapat terjadi akibat *bending stress*, tegangan sisa, dan *end-cap force induced stress* (Yohanness 2012). Tegangan longitudinal pada kondisi instalasi dan operasi dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

1. Tegangan longitudinal pada kondisi instalasi (disebabkan oleh *hoop stress* dan tegangan termis)

$$\sigma_l = \frac{vpR}{t} - E\alpha\theta \quad (2.14)$$

2. Tegangan longitudinal pada kondisi operasi (disebabkan oleh kombinasi tegangan termis, *hoop stress*, *bending stress*, tegangan sisa, dan *end cap force induce stress*)

$$\sigma_l = \frac{vpR}{t} - E\alpha\theta \pm \frac{F}{A_s} \pm \frac{Mc}{I} + \frac{F_{endcap}}{A_s} \quad (2.15)$$

dimana :

σ_l = *longitudinal stress*

v = *poisson's ratio of steel*

p = *operating pressure*

R = *mean radius*

t = *wall thickness*

E = *young's modulus of steel*

α = *thermal coefficient for steel expansion*

θ = *Operating temperature rise*

F = *residual axial tension*

A_s = *cross sectional area of pipe*

M = bending momoent

c = pipeline centroid

I = moment of inertia

F_{cap} = end cap force

2.2.5.3. Tegangan Ekuivalen (*Von-Mises Stress*)

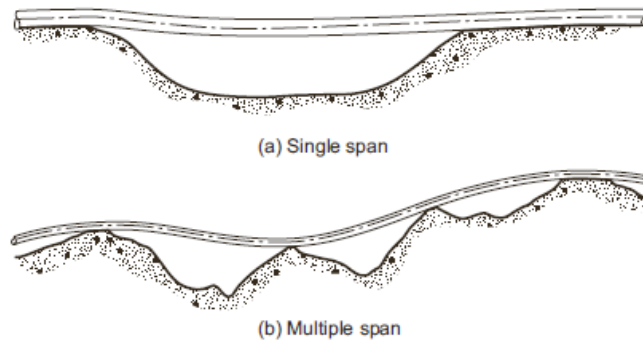
Tegangan gabungan dari *hoop stress* dan tegangan longitudinal dapat ditentukan hubungannya dengan persamaan tegangan von mises, yaitu :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_l^2 - \sigma_h \sigma_l} \quad (2.16)$$

Umumnya didalam *standards/codes* secara praktis tegangan ekuivalen (σ_{eq}) tidak boleh melebihi nilai tertentu dari *Specified Minimum Yield Stress* (SMYS) ketika fase instalasi maupun operasi.

2.2.6. Bentangan (*Free-Span*) Pada Pipa

Konfigurasi pipa di dasar laut tergantung dari profil topografi dasar laut, jenis tanah, tegangan sisa, kekakuan pipa, dan berat terendamnya. *Free span* pada *pipeline* berarti sebagian dari pipa tersebut tidak didukung atau ditahan oleh dasar laut. Pipa cenderung membentuk *span* atau bentangan daripada mengikuti topografi dasar laut karena topografinya yang sangat tidak teratur atau kasar. *Span* pada pipa dapat terbentuk karena penyimpangan selama instalasi, *scouring* (penggerusan) dan gerakan horisontal pipa selama operasi. Jenis *span* pada *pipeline* tidak hanya bentangan tunggal (*single span*), namun juga beberapa bentangan (*multi span*). *Multi span* yang berdekatan dapat saling berpengaruh atau saling berinteraksi (Bai dan Bai, 2014).

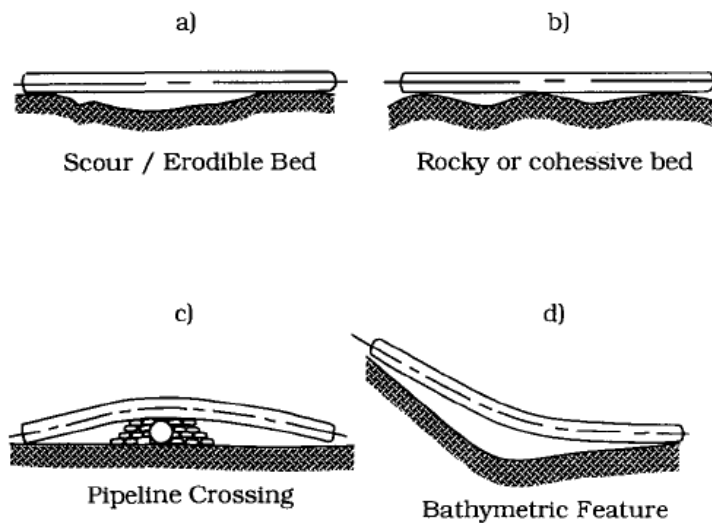


Gambar 2.8. Tipe *Span*

(Bai dan Bai, 2014)

Menurut DNV-RP-F105 (2006), *free span* dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu:

- Scouring* yang menyebabkan *free span*, yang terjadi karena erosi dasar laut. Parameter *free span* dapat berubah dengan waktu yaitu panjang *span*, *gap ratio*, dan yang lainnya
- Free span* yang terjadi karena dasar laut yang tidak merata atau tidak teratur



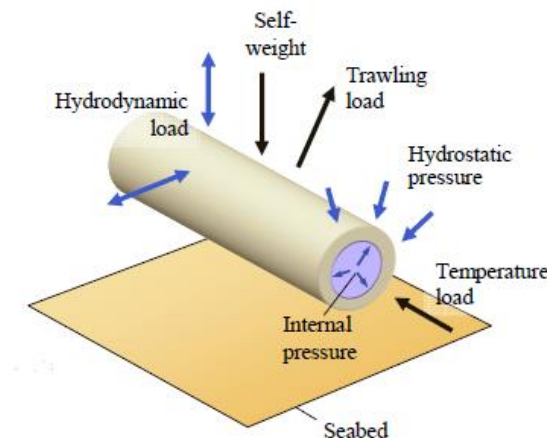
Gambar 2.9. Skenario *pipeline free span*

(Orgill dkk, 1992 dalam Sumer dan Fredsøe, 2006)

Free span biasanya dipengaruhi oleh gerakan dasar laut, pengaruh arus, dan gelombang. Analisis *free span* pada pipa bawah laut merupakan masalah yang kompleks yang berhubungan dengan bidang hidrodinamika, mekanika tanah, dan analisa struktur (Elshafey dkk, 2011)

Beban yang mempengaruhi *free span* menurut Ruby dan Hartvig (2008) yaitu:

- a. *Self weight* yaitu beban statis vertikal karena pengaruh gravitasi dan massa pipa dengan *coating*, fluida di dalamnya atau mungkin *marine growth*. Berat *self weight* terbesar saat di dalamnya berisi air (saat *water filled*), karena densitas air lebih besar dari pada minyak dan gas.
- b. *Trawling load* yaitu beban karena pengaruh kecelakaan dari *trawling*.
- c. *Temperature load* yaitu beban aksial statis selama pipa beroperasi karena perbedaan suhu antara isi pipa dengan air di sekitar atau luar pipa.
- d. *Internal pressure* yaitu tekanan statis yang mempengaruhi permukaan bagian dalam dinding pipa yang terjadi selama pipa beroperasi.
- e. *Hydrostatic pressure* yaitu tekanan statis yang mempengaruhi permukaan luar pipa karena pengaruh dari tekanan air dasar laut.



Gambar 2.10. Tipe beban pada *free span*
(Ruby dan Hartvig, 2008)

- f. *Hydrodynamic load* yaitu beban dinamis yang timbul karena medan aliran di sekitar *free span* yaitu arus dan gelombang.

2.2.7. Kriteria Desain

Code yang akan digunakan dalam tugas akhir ini ada DNV-OS-F101-*Submarine Pipeline System*. *Code* ini secara umum mencakup hampir segala aspek dari sistem pipa bawah laut.

Beban

Dalam rangka memprediksi tegangan pada pipa, maka harus diketahui tentang beban-beban yang bekerja pada pipa. menurut DNV-OS-F101 beban yang bekerja pada pipa dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Beban Fungsional (*Functional Loads*) merupakan beban akibat keberadaan fisik dari sistem, seperti :
 - Berat pipa termasuk gaya apung dan konten.
 - Tekanan hidrostatik eksternal dikenakan sebagai beban tekanan dari lingkungan laut (kedalaman).
 - Tekanan internal dari tekanan internal dalam pipa.
 - Temperatur konten. Temperatur operational dan fluktuasi temperatur harus dipertimbangkan.
 - *Pre-stressing* akibat kelengkungan permanen dari instalasi.
2. Beban Lingkungan (*Enviromental Loads*) merupakan komponen beban yang bekerja pada sistem dari lingkungan laut sekeliling, seperti :
 - Beban hidrodinamika akibat gelombang, arus, dan pergerakan relatif pipa, dan gaya tidak langsung dari gerakan kapal. Dengan periode ulang beban gelombang 10^{-2} . Gaya drag, gaya angkat, gaya inersia, VIV, *slamming*, dan variasi gaya apung.
3. Beban Kecelakaan (*Accidental Loads*) merupakan beban dari kondisi abnormal dan tidak direncanakan dengan probabilitas kejadian kurang dari 10^{-2} , seperti :
 - Beban gelombang dan arus ekstrim
 - Tubrukan kapal
 - Kejatuhan benda

- Ledakan
- Tarikan jangkar

Batas Keadaan Desain (*Limit State Desain*)

Prinsipnya setiap beban yang bekerja harus memenuhi batas keadaan (*limit state*) agar desain dapat diterima. Berdasarkan DNV-OS-F101 batas keadaan desain dibagi menjadi 3, yaitu :

- ULS *Ultimate Limit State*
- FLS *Functional Limit State*
- ALS *Accidental Limit State*

Berikut faktor keamanan (*Safety Factors*) dari setiap batas keadaan menurut DNV-OS-F101 :

Tabel 2.2. Load Effect Factor Combination

(DNV-OS-F101, 2012)

<i>Limit State / Load combination</i>	<i>Load effect combination</i>		<i>Functional loads</i> ¹⁾	<i>Environmental load</i>	<i>Interference loads</i>	<i>Accidental loads</i>
			γ_F	γ_E	γ_F	γ_A
ULS	<i>a</i>	System check ²⁾	1.2	0.7		
	<i>b</i>	Local check	1.1	1.3	1.1	
FLS	<i>c</i>		1.0	1.0	1.0	
ALS	<i>d</i>		1.0	1.0	1.0	1.0

1) If the functional load effect reduces the combined load effects, γ_F shall be taken as 1/1.1.
 2) This load effect factor combination shall only be checked when system effects are present, i.e. when the major part of the pipeline is exposed to the same functional load. This will typically only apply to pipeline installation.

Beban desain dihitung menggunakan faktor keamanan pada Tabel 2.1.sesuai dengan ULS, FLS, dan ALS dan metodologi desain.

Cek Desain

Ketahanan Struktural (*Structural Resistance, R_{Rd}*) dihitung untuk semua moda kegagalan. Cek desain dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$f\left(\left(\frac{L_{Sd}}{R_{Rd}}\right)\right) \leq 1 \text{ dimana ketahanan didapatkan dengan } R_{Rd} = \frac{R_c}{\gamma_m \cdot \gamma_{SC}}$$

dimana :

- L_{sd} = beban desain pada setiap moda kegagalan
 R_c = ketahanan pada setiap moda kegagalan
 γ_m = faktor ketahanan material bernilai 1.15 untuk SLS/ULS/ALS dan 1 untuk FLS
 γ_{SC} = faktor keamanan berhubungan dengan tingkat keamanan yang dibutuhkan, bernilai 1.26 untuk tingkat keamanan tinggi

Tabel 2.3. Material Resistance Factor
(DNV-OS-F101, 2012)

<i>Limit state category¹⁾</i>	<i>SLS/ULS/ALS</i>	<i>FLS</i>
γ_m	1.15	1.00
1) The limit states (SLS, ULS, ALS and FLS) are defined in D.		

Tabel 2.4. Safety Class Resistance Factor
(DNV-OS-F101, 2012)

<i>Safety class</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
Pressure containment ¹⁾	1.046 ^{2),3)}	1.138	1.308 ⁴⁾
Other	1.04	1.14	1.26

Prinsipnya pengecekan desain ialah penggunaan persamaan berdasarkan standar pada setiap moda kegagalan untuk menghitung nilai ketahanan struktural. Kemudian menentukan beban berdasarkan moda kegagalan tersebut kurang atau sama dengan ketahan strukturalnya.

Pada analisis ini *local buckling* diasumsikan sebagai moda kegagalan yang paling relevan dari tarikan papa pkat. *Local buckling* didefinisikan sebagai keadaan struktur dimana penambahan sedikit beban memicu penambahan besar displacement. Umumnya hal ini direfleksikan pada perubahan dari deformasi bentuk dan berkemungkinan kehilangan stabilitasnya (Selker, 2013).

Berdasarkan DNV-OF-F101, dalam melakukan analisis *local buckling* yang

terjadi harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. *System Collapse*

Keruntuhan sistem akan muncul pada titik terlemah dari *pipeline*. Ini biasanya ditunjukkan dengan F_y dan ketebalan dinding pipa minimum t_1 . Tekanan eksternal dititik manapun sepanjang pipa harus memenuhi kriteria berikut (*system collapse*) :

$$p_e - p_{min} \leq \frac{p_c(t_1)}{\gamma_m \gamma_{SC}} \quad (2.17)$$

dimana :

p_{min} = tekanan intenal minimum yang dapat dipertahankan

Dan karakteristik ketahanan untuk tekanan eksternal (p_c)(*collapse*) dapat dihitung dengan :

$$(p_c(t) - p_{el}(t)) \cdot (p_c(t)^2 - p_p(t)^2) = p_c(t) \cdot p_{el}(t) \cdot p_p(t) \cdot f_0 \cdot \frac{D}{t} \quad (2.18)$$

dimana :

$$P_{el}(t) = \frac{2 \cdot E \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^3}{1 - \nu^2} \quad (2.19)$$

$$P_p(t) = f_y \cdot \alpha_{fab} \cdot \frac{2 \cdot t}{D} \quad (2.20)$$

$$f_0 = \frac{D_{max} - D_{min}}{D} \quad (2.21)$$

2. *Propagation buckling*

Propagation buckling tidak dapat terinisiasi kecuali *local buckling* muncul. Pada kasus tekanan eksternal melebihi kriteria dibawah, maka harus dipasang *buckle arrestors*. Kriteria *local buckling* yang harus dipenuhi ialah :

$$p_e - p_{min} \leq \frac{p_{pr}}{\gamma_m \gamma_{SC}} \quad (2.22)$$

dimana :

$$p_{pr} = 35 \cdot f_y \cdot \alpha_{fab} \left(\frac{t_2}{D}\right)^{2.5} \quad (2.23)$$

$$15 < \frac{D}{t_2} < 45$$

3. Combined loading

Dalam kriteria desain *local buckling* akibat beban gabungan, dikelompokkan menjadi dua jenis kondisi, yaitu :

- *Load Controlled Condition*
- Kondisi dimana respon struktural utamanya diakibatkan oleh beban yang dikenakan pada struktur. Pada kondisi ini digunakanlah kriteria desain berbasis tegangan (*stress based design*) dalam pengecekan desainnya. Maka pada desain berbasis tegangan, kriteria yang harus dipenuhi ialah : Kondisi pipa dikenakan momen *bending*, gaya aksial efektif, dan tekanan internal berlebih.

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}(P_i)}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{\alpha_c \cdot p_b(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (2.24)$$

Diaplikasikan untuk :

$$15 \leq D/t_2 \leq 45, P_i > P_e, |S_{sd}|/S_p < 0.4$$

dimana :

M_{sd} = momen desain

S_{sd} = gaya aksial efektif desain

P_i = tekanan internal

P_e = tekanan eksternal

P_b = tekanan *bursting*

S_p dan M_p = kapasitas plastis untuk pipa didefinisikan sebagai :

$$S_p(t) = f_y \cdot \pi \cdot (D - t) \cdot t \quad (2.25)$$

$$M_p(t) = f_y \cdot (D - t)^2 \cdot t \quad (2.26)$$

$$\alpha_c = (1 - \beta) + \beta \cdot \frac{f_u}{f_y} \quad (2.27)$$

$$\alpha_p = \begin{cases} 1 - \beta & \frac{p_i - p_e}{p_b} < \frac{2}{3} \\ 1 - 3\beta \left(1 - \frac{p_i - p_e}{p_b}\right) & \frac{p_i - p_e}{p_b} \geq \frac{2}{3} \end{cases} \quad (2.28)$$

$$\beta = \frac{60 - D/t_2}{90} \quad (2.29)$$

Kondisi pipa dikenakan momen *bending*, gaya aksial efektif, dan tekanan internal berlebih.

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot S_{sd}}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \frac{p_e - p_{min}}{p_c(t_2)} \right)^2 \leq 1$$

$$15 \leq D/t_2 \leq 45, \quad p_i < p_e, \quad |S_{sd}|/S_p < 0.4 \quad (2.30)$$

- *Displacement Controlled Condition*

Kondisi dimana respon struktural utamanya diakibatkan perpindahan geometrik. Pada kondisi ini digunakanlah kriteria desain berbasis regangan (*strain based design*) dalam pengecekan desainnya. Kriteria regangan terhadap *local buckling* berdasarkan DNV-OS-F101 dapat ditunjuka dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon_{sd} \leq \varepsilon_{Rd} = \frac{\varepsilon_c(t, p_{min} - p_e)}{\gamma_\varepsilon} \quad , \quad \frac{D}{t} \leq 45 \quad , \quad p_i \geq p_e \quad (2.31)$$

$$\varepsilon_c(t, p_{min} - p_e) = 0.78 \left(\frac{t}{D} - 0.01 \right) \cdot \left(1 + 5.75 \cdot \frac{p_{min} - p_e}{p_{b(t)}} \right) \cdot \alpha_h^{-1.5} \cdot \alpha_{gw} \quad (2.32)$$

dimana :

γ_ε = strain resistance factor

α_h = material factor

α_{gw} = girth weld factor

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

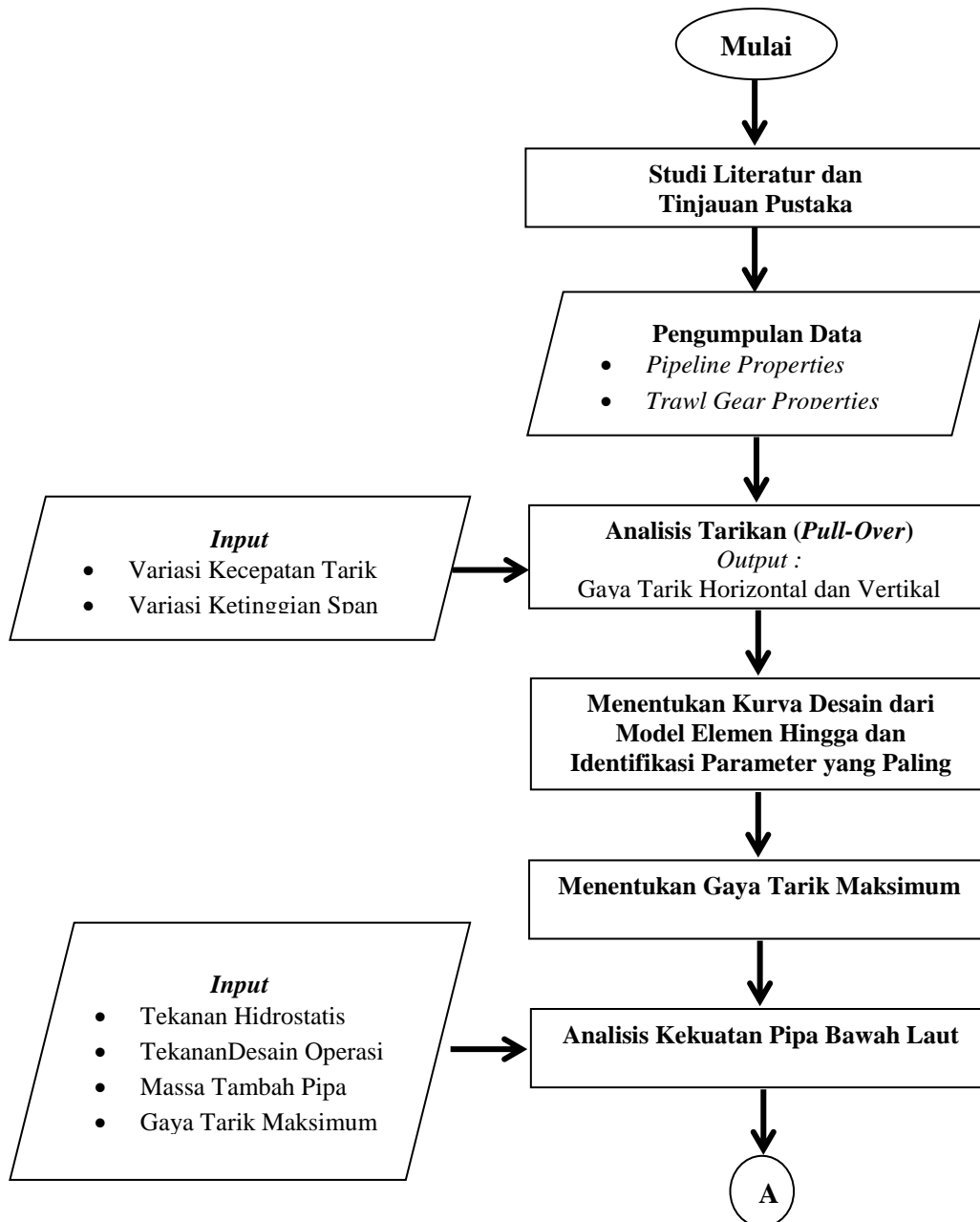
BAB III

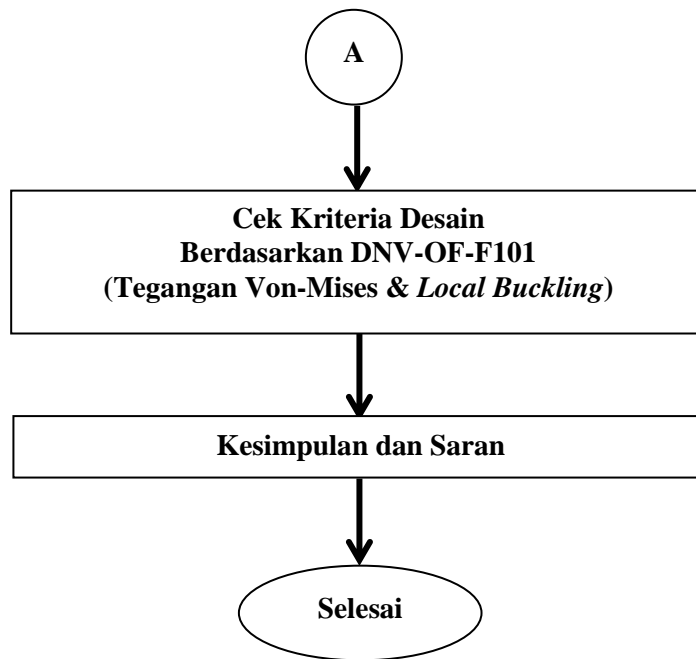
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir (Flow Chart)





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Penjelasan Diagram Alir

1. Studi Literatur dan Tinjauan Pustaka

Studi literatur meliputi tentang ulasan umum pukat, interaksi pukat dengan pipa, gaya dan durasi tarikan pukat, tegangan pada pipa, kriteria desain pipa, dan *free-span*. Dan tinjauan pustaka dari penelitian sebelumnya dengan topik serupa.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan, antara lain : *pipeline propertis* dan *trawl gear properties*.

3. Analisis Tarikan (*Pull-Over*)

Simulasi tarikan papan pukat terhadap pipa bawah laut dilakukan secara *time history* menggunakan perangkat lunak ANSYS-*Transient Structural*. Hasil dari analisis tarikan berupa gaya tarik horizontal dan vertikal persatuan.

4. Menentukan Kurva Desain dari Model Elemen Hingga dan Identifikasi

Parameter yang Paling Signifikan

Mengidentifikasi kurva hubungan gaya tarik terhadap waktu menentukan parameter mana yang menghasilkan gaya tarik paling besar. Kurva gaya tarik terhadap waktu didapatkan dari analisis model elemen hingga.

5. Menentukan Gaya Tarik Maksimum

Menentukan beban tarik maksimum dan digunakan sebagai acuan penentuan respon maksimum pada pipa. Beban tarik maksimum akan divalidasi dengan perhitungan besar gaya tarik berdasarkan DNV-RP-F111 Selanjutnya memastikan respon pipa dengan kriteria desain pada DNV-OS-F101.

6. Analisis Kekuatan Pipa Bawah Laut

Simulasi model pipa bawah laut yang dikenai beban tarikan papan pukat akan dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS-*Static Structural*. Selain kecepatan tarik papan pukat dan ketinggian bentangan, dalam analisis kekuatan pipa akan diperhitungkan juga beban operasional seperti tekanan hidrostatik dan tekanan desain operasi.

7. Cek Kriteria Desain Berdasarkan DNV-OS-F101 (Tegangan Von-Mises dan *Local Buckling*)

Membandingkan tegangan von-mises hasil analisis kekuatan pipa terhadap kriteria desain untuk parameter tegangan von-mises pada DNV-OS-F101 yaitu :

$$\sigma_{eq} \leq 0.87 \cdot f_y$$

Dan analisis *local buckling* dilakukan menggunakan Persamaan (2.24) atau (2.30) untuk menemukan *Unity Check* (UC). Jika nilai UC kurang dari 1, maka dinyatakan tarikan papan pukat tidak menyebabkan kegagalan *local buckling*.

8. Kesimpulan dan Saran

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

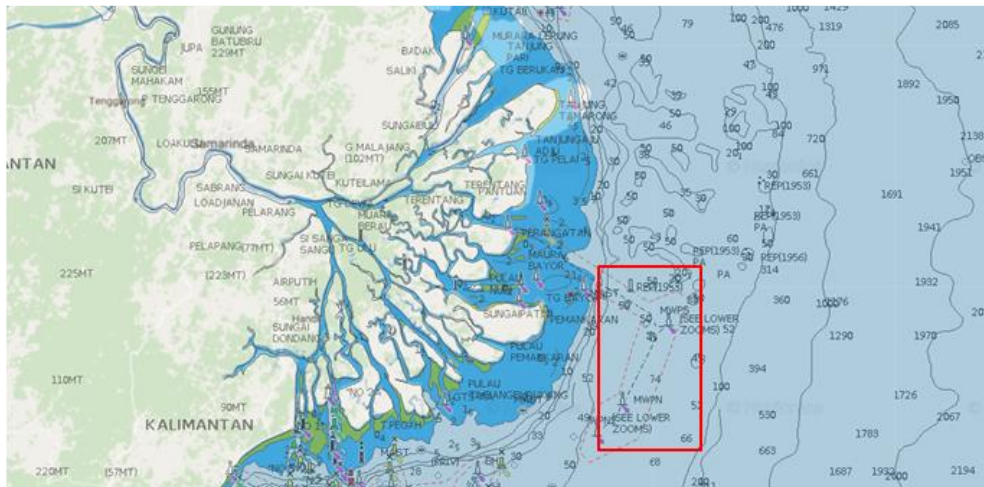
4.1. PENGUMPULAN DATA

4.1.1. Data Pipa

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang kekuatan pipa milik Total E&P Indonesia, khususnya pipa bawah laut yang kondisinya tidak terkubur (*unburied*) yang menghubungkan antara Sisi Nubi *Production Separation* (SNPS) dengan Manifold Wellhead Production Separation (MWPS) terhadap tarikan papan pukat. berikut data dan lokasi pipa bawah laut KP 9 – KP 13 yang akan dianalisis :

Tabel 4.1. Data Pipa Milik Total E&P Indonesia,
Sisi Nubi Production Separation (SNPS)-
Manifold Wellhead Production Separation (MWPS)
(Popang, 2011)

Name of Pipeline	26" Trunkline
Start Point	KP = 9
End Point	KP = 13
Approximate Length	4.49 km
Type	Offshore Pipeline
Temperature Derating Factor	T = 1
Status	Unburied
Seawater Depth	45 m
Seawater Density	1026 kg/m ³
Pressure	
-Max Operating	82.2-96.6 Bar
-Design (D.P.)	120 Bar
Outside Diameter	26" (660.4 mm)
Wall Thickness	23.83 mm
Grade	X 65
-SMYS	448 MPa
-SMTS	530 MPa



Gambar 4.1. Lokasi Pipa Milik Total E&P Indonesia,
Sisi Nubi Production Separation (SNPS)-
Manifold Wellhead Production Separation (MWPS)

4.1.2. Data Kapal Pemukat

Dimensi dan berat papan pukat (*trawl board*) berhubungan dengan tenaga mesin yang terpasang pada kapal pemukat. Pada Tugas Akhir (TA) ini armada kapal pemukat 36 GT - Bali Raya yang akan digunakan untuk referensi perhitungan dimensi dan berat papan pukat. Berikut ukuran utama disajikan pada **Tabel 4.2** dan detail permesinan kapal disajikan pada **Tabel 4.3** :

Tabel 4.2. Ukuran Utama Pemukat Kapal Bali Raya

(Sumber : <http://armada.bki.co.id/featapp/pagedetail-39-ship-register-lang 4707.html>)

Ship Name :
BALI RAYA NO. 1
LOA (m) : 19.95
LBP (m) : 17.50
BMLD (m) : 3.85
HMLD (m) : 1.47
T (m) : 1.12
GT : 36.00
NT : 18.00

Tabel 4.3. Detail Mesin Utama Kapal Pemukat Bali Raya

(Sumber : <http://armada.bki.co.id/featapp/pagedetail-39-ship-register-lang4707.html>)

No.	Merk	Manufacture	Cyl	BHP	RPM	Year	Model	Series	Position
1	YANMAR	YANMAR DIESEL ENGINE CO., LTD.	6	280	2000	1987	6 HAK- DT	12919	

4.2. PERHITUNGAN DIMENSI DAN BERAT PAPAN PUKAT

4.2.1. Dimensi Papan Pukat

Kesesuaian ukuran dari papan pukat dengan kekuatan mesin yang terpasang pada kapal pemukat sangatlah penting untuk memastikan efisiensi maksimum dalam beroperasi. Dikarenakan tidak adanya metode perhitungan yang baku, pemilihan papan pukat biasanya berdasarkan garis regresi dari kumpulan data kapal yang ada (Mukundan). Pada tugas akhir ini pemilihan dimensi papan pukat dilakukan berdasarkan kekuatan mesin kapal pemukat Bali Raya No. 1-7 yang berukuran 36 GT. Detail permesinan kapal disajikan pada **Tabel 4.3** sebelumnya.

Ukuran papan pukat akan ditentukan berdasarkan investigasi Miyamoto (1958) pada papan pukat yang digunakan oleh beberapa pemukat yang beroperasi di india dan jepang. Dan hubungan yang didapatkan ialah :

$$S'' = 0.105P + 4$$

$$S'' = 0.105(280) + 4$$

$$S'' = 19.75 \text{ ft}^2 = 2.19 \text{ m}^2$$

dimana,

S'' : luasan papan pukat (ft^2)

P : kekuatan mesin kapal (H.P.)

Umumnya ukuran papan pukat persegi menggunakan perbandingan 2:1 untuk panjang dan lebar (Miyamoto, 1958). Maka berikut dimensi utama papan pukat

disajikan pada **Tabel 4.4.**

Tabel 4.4. Dimensi Utama Papan Pukat

	P (m)	L (m)
Miyamoto (1958)	1.46	0.73

4.2.2. Berat Papan Pukat

Berat dari papan pukat ditentukan berdasarkan ukuran jarring dan kekuatan mesin yang terpasang pada kapal pemukat. Miyamoto (1958) menemukan bahwa berat dari papan pukat ialah proporsional dengan kekuatan mesin kapal dan persamaan $\left(\frac{a+b}{2}\right)$, dimana a dan b ialah panjang dan lebar dari papan. Berat papan pukat didapatkan berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Sampai dengan 100 H.P. - } W = 2.7P$$

$$100 \text{ H.P. sampai } 600 \text{ H.P. - } W = 6.5P - 400$$

dimana,

W : berat papan pukat (lb)

Maka berdasarkan kekuatan kapal Bali Raya No.1-7 ialah :

$$W = 6.5P - 400$$

$$W = 575 \text{ lb} = 258.75 \text{ kg}$$

4.2.3. Ketebalan Papan Pukat

Ketebalan papan pukat berbeda berdasarkan ukuran papan (Miyamoto,1959; Nair, 1960). Berikut hubungan ketebalan-ukuran papan pukat disajikan pada **Tabel 4.5.**

Tabel 4.5 Hubungan Ketebalan-Ukuran Papan Pukat

t (cm)	L (cm)
1.90-2.54	76.2-127
2.54-3.81	127-152
3.81-7.62	152-228

Berdasarkan table diatas, maka tebal papan pukat yang digunakan ialah **3.81cm.**

4.3. ANALISIS TARIKAN (*PULL-OVER*)

4.3.1. Asumsi Dalam Analisis

4.3.1.1. Kecepatan Tarik Pukat

Kecepatan dan pola penarikan pukat utamanya dipengaruhi oleh pola pergerakan ikan dan kecepatan ekonomis dari kapal pemukat. Pemukatan untuk udang umumnya dilakukan pada kecepatan 2-3 knot, sedangkan pemukatan ikan dilakukan pada kecepatan 5-6 knot (DNV-RP-F111). Pada penelitian ini analisis tarikan pukat akan dilakukan dengan 3 (tiga) perbedaan kecepatan tarik papan pukat (V), yaitu 3 knot, 4 knot, dan 5 knot.

4.3.1.2. Gesekan Tanah

Pada fenomena tarikan pukat, gesekan dasar laut yang dihasilkan dari interaksi tanah dengan pipa dapat memberikan pengaruh besar terhadap beban tarikan ketika pipa persentuhan penuh dengan dasar laut, dimana hal tersebut menimbulkan tahanan lateral. Selain gesekan tanah, pipa dengan bentangan dan tumpuan jepit di kedua ujungnya, memiliki pengaruh pada beban tarikan sebagaimana sebagian efek gesekan tanah diambil oleh gesekan jauh dari titik interaksi. Dalam permodelan elemen hingga koefisien gesek antara tanah dan pipa diperhitungkan sebesar 0.5.

4.3.1.3. Panjang dan Tinggi Bentangan

Pemilihan panjang bentangan didasari oleh sifat respon pipa terhadap beban lingkungan. Dimana menurut DNV-RP-F105, sifat respon pipa dengan bentangan dibagi menjadi 4 kategori sebagai berikut ditunjukkan pada **Tabel 4.6** :

Tabel 4.6 Perilaku Respon Pipa dengan Bentangan
(DNV-RP-F105)

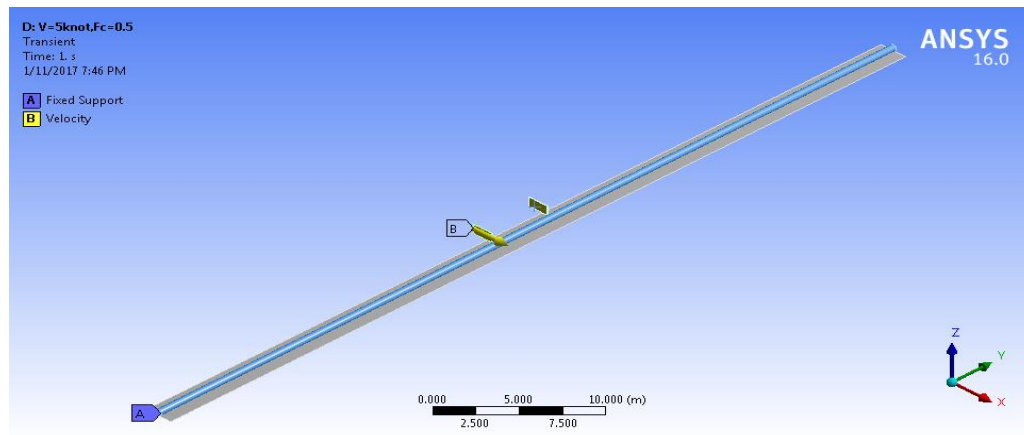
<i>L/D</i>	<i>Response description</i>
$L/D < 30$ ¹⁾	Very little dynamic amplification. Normally not required to perform comprehensive fatigue design check. Insignificant dynamic response from environmental loads expected and unlikely to experience VIV.
$30 < L/D < 100$	Response dominated by beam behaviour. Typical span length for operating conditions. Natural frequencies sensitive to boundary conditions (and effective axial force).
$100 < L/D < 200$	Response dominated by combined beam and cable behaviour. Relevant for free spans at uneven seabed in temporary conditions. Natural frequencies sensitive to boundary conditions, effective axial force (including initial deflection, geometric stiffness) and pipe "feed in". Refer to 1.7 for free span response classification, which provides practical guidance for engineering applications, with respect to single and multi-mode response.
$L/D > 200$	Response dominated by cable behaviour. Relevant for small diameter pipes in temporary conditions. Natural frequencies governed by deflected shape and effective axial force.
1) For hot pipelines (response dominated by the effective axial force) or under extreme current conditions ($U_c > 1.0 - 2.0$ m/s) this L/D limit may be misleading.	

Pada penelitian ini analisis tarikan papan pukat akan dilakukan dengan panjang bentangan yang diperhitungkan dalam analisis ialah 20 m. dimana panjang bentangan tersebut termasuk dalam kategori dengan respon pipa didominasi dengan perilaku balok. Sehingga tidak perlu dilakukannya analisis kelelahan dan berfokus pada respon pipa akibat tarikat papan pukat. Dan pada penelitian ini analisis tarikan papan pukat akan dilakukan dengan 2 (dua) perbedaan tinggi bentangan (H_{sp}), yaitu 0 m dan 1 m.

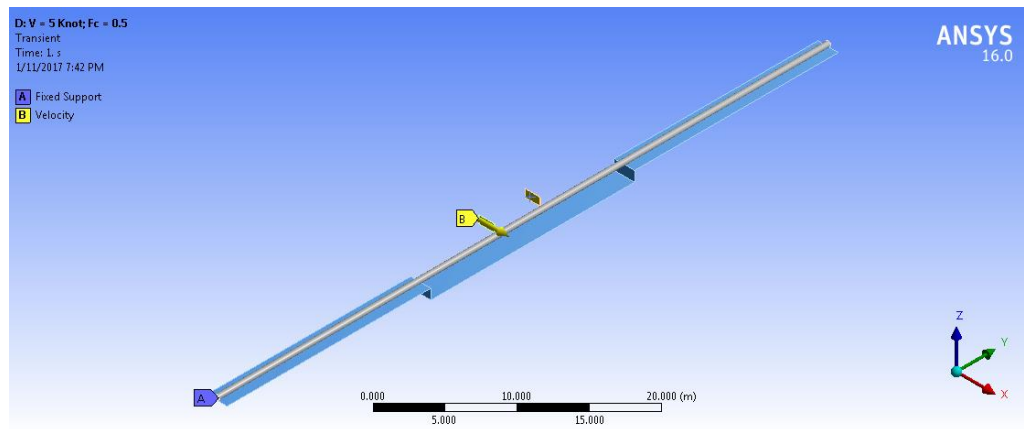
4.3.2. Permodelan

Dalam analisis pipa dimodelkan sepanjang 60m dengan 2 variasi kondisi, yaitu tanpa bentangan bebas (*free-span*) dan dengan bentangan bebas sepanjang 20m. pipa dimodelkan dengan tumpuan jepit (*fixed*) disetiap ujungnya. Diasumsikan pipa tertahan timbunan bebatuan (*rock dumping*) sehingga tidak ada perpindahan pada setiap ujungnya ketika terjadi pembebanan. Dan permukaan tanah dasar laut dalam analisis dimodelkan sebagai benda tegar (*rigid body*). Analisis tarikan dilakukan tanpa memperhitungkan pengaruh operasional dari pipa, seperti

tekanan hidrostatik dan tekanan internal untuk dapat meninjau pengaruh dari interaksi tarikan papan pukat terhadap pipa. Analisis tarikan dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS-*Transient Structural*. Berikut permodelan analisis tarikan ditampilkan pada **Gambar 4.2.** dan **4.3.**



Gambar 4.2. Permodelan analisis tarikan ($H_{\text{span}} = 0\text{m}$)



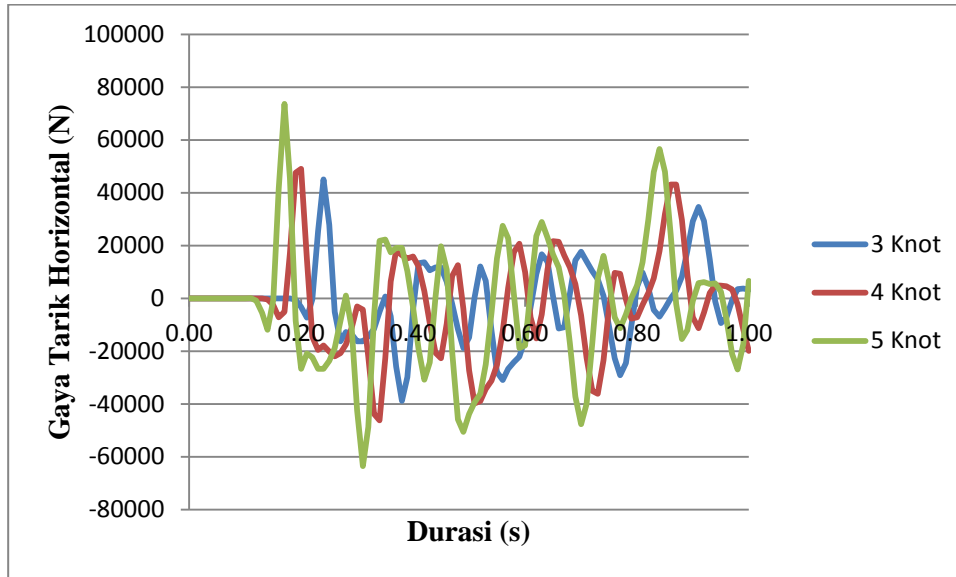
Gambar 4.3. Permodelan analisis tarikan ($L_{\text{span}} = 20\text{ m}$ dan $H_{\text{span}} = 1\text{m}$)

4.4. IDENTIFIKASI PARAMETER YANG PALING SIGNIFIKAN

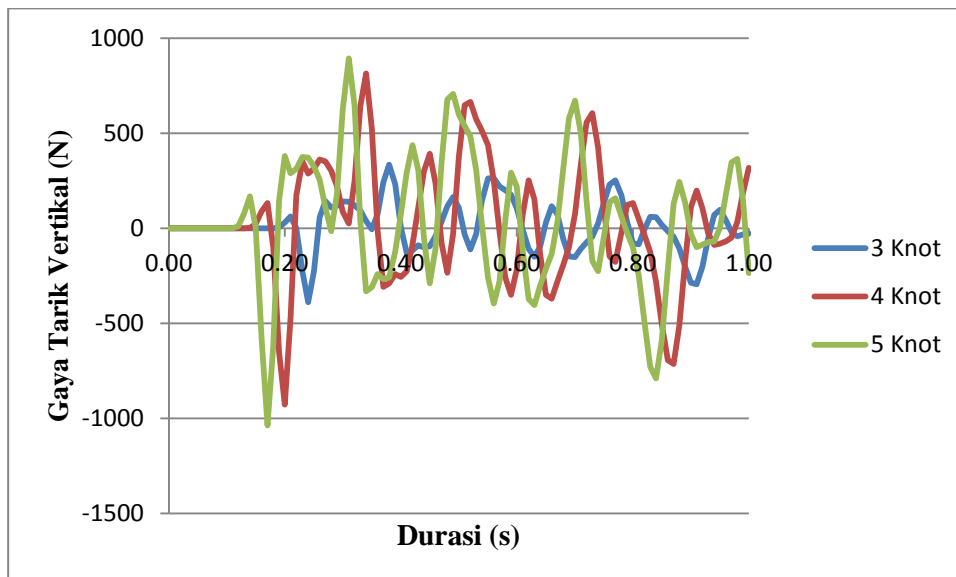
4.4.1. Hubungan Kecepatan dan Gaya Tarik Papan Pukat

Pada Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.7 ditunjukkan pengaruh kecepatan tarik pukat terhadap gaya tarik yang terjadi pada pipa untuk setiap ketinggian bentangan. Kecepatan yang diperhitungkan ialah 3 Knot, 4 Knot, dan 5 Knot.

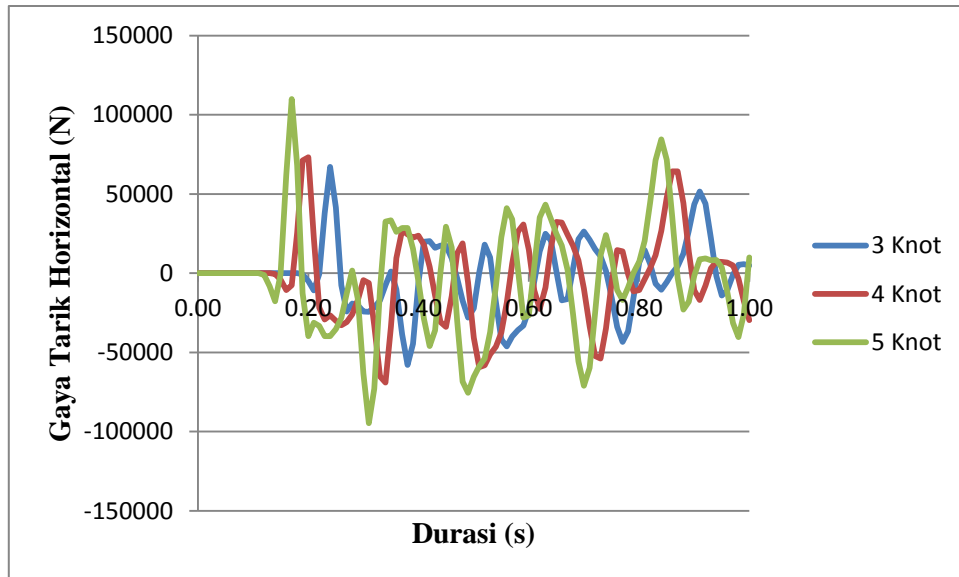
Didapatkan dari analisis tarikan bahwa pada peningkatan 30% dan 60% dari kecepatan tarik pukat awal 3 Knot, gaya horizontal bertambah sebesar 50.35% dan gaya vertikal bertambah sebesar 9.81% pada setiap pertambahan kecepatan.



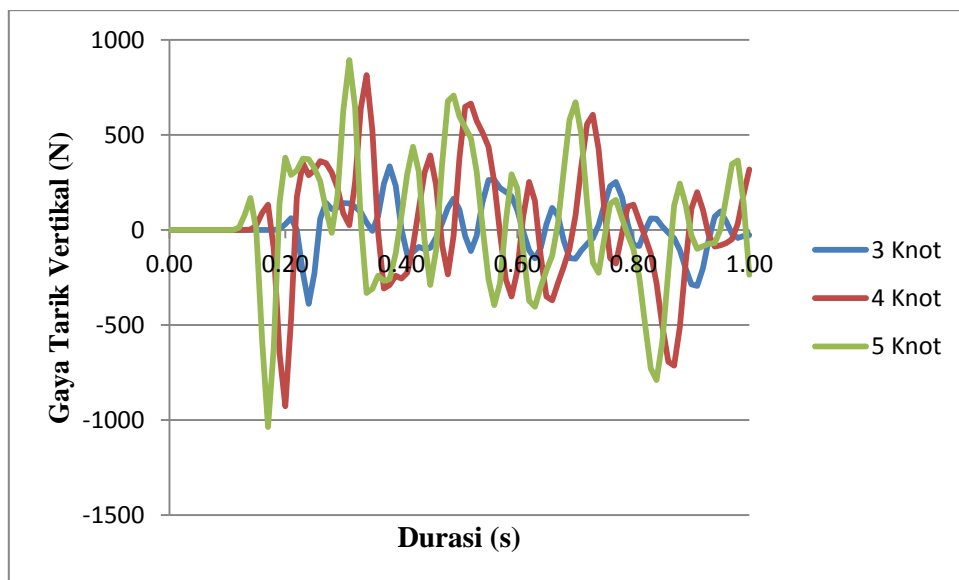
Gambar 4.4. Gaya Tarik Horizontal pada Ketinggian Span 0 m untuk setiap variasi kecepatan



Gambar 4.5. Gaya Tarik Vertikal pada Ketinggian Span 0 m untuk setiap variasi kecepatan



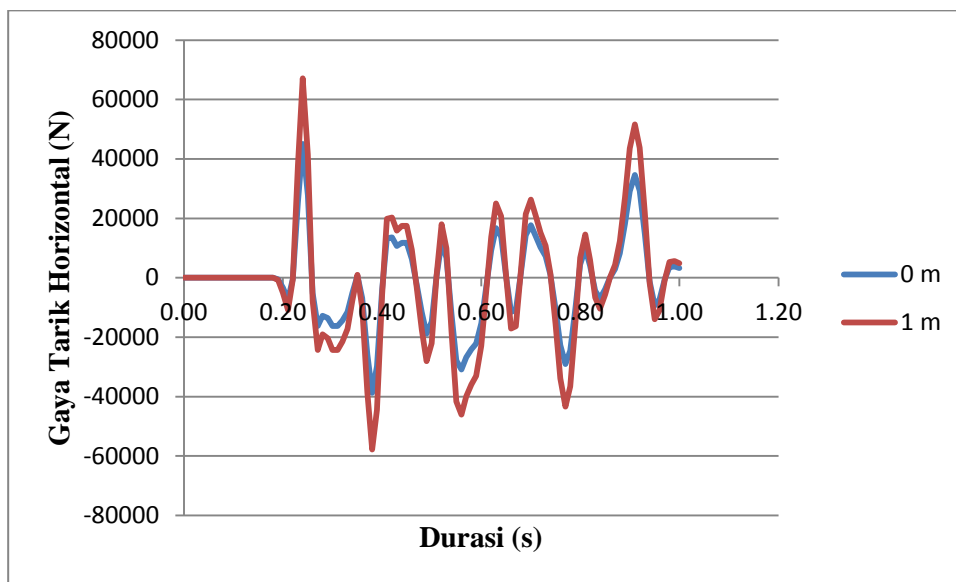
Gambar 4.6. Gaya Tarik Horizontal pada Ketinggian Span 1 m untuk setiap variasi kecepatan



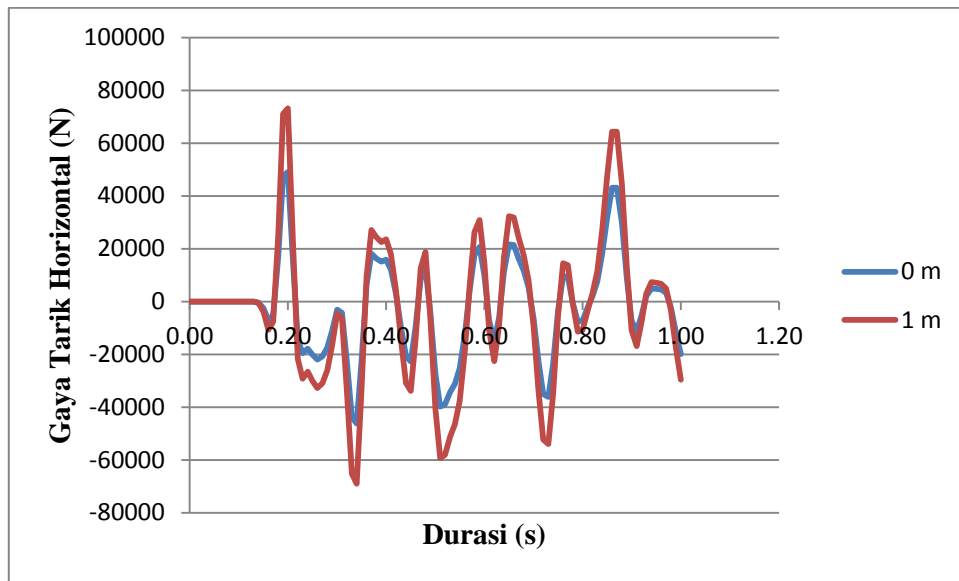
Gambar 4.7. Gaya Tarik Vertikal pada Ketinggian Span 1 m untuk setiap variasi kecepatan

4.4.2. Hubungan Ketinggian Bentangan dan Gaya Tarik Papan Pukat

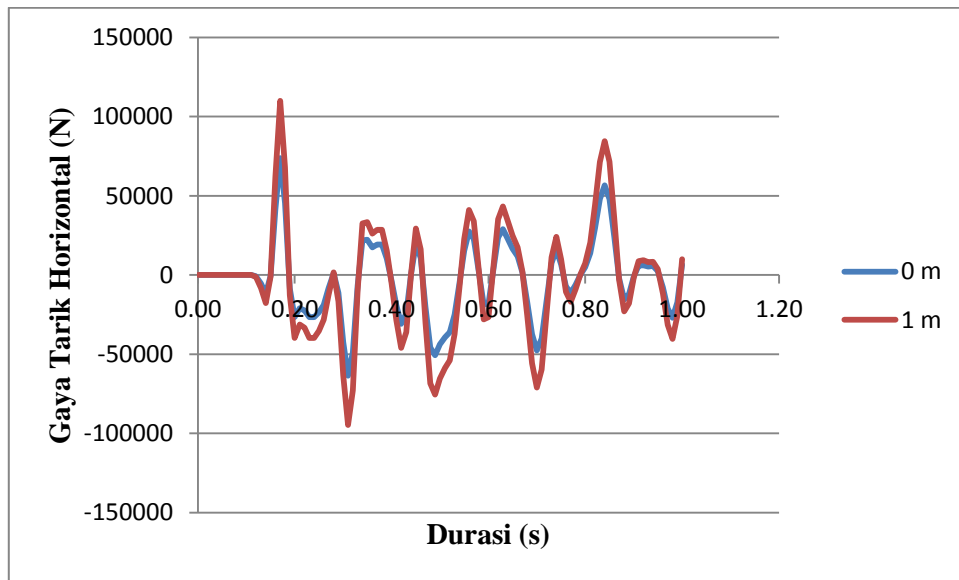
Pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.10 ditunjukkan pengaruh ketinggian bentangan (Hsp) terhadap gaya tarik pukat. Ketinggian pukat yang diperhitungkan ialah 0 m dan 1 m. Berdasarkan analisis tarikan didapatkan bahwa untuk pertambahan ketinggian span dari 0 m hingga 1m gaya tarik horizontal bertambah sebesar 49.25%. Hal ini dipengaruhi oleh berkurangnya pengaruh gaya gesek pada pipa dengan bentangan.



Gambar 4.8. Gaya Tarik Horizontal dengan kecepatan tarik 3 Knot untuk setiap variasi ketinggian bentangan



Gambar 4.9. Gaya Tarik Horizontal dengan kecepatan tarik 4 Knot untuk setiap variasi ketinggian bentangan



Gambar 4.10 Gaya Tarik Horizontal dengan kecepatan tarik 5 Knot untuk setiap variasi ketinggian bentangan

4.5. BEBAN TARIKAN MAKSIMUM

4.5.1. Screening Beban Tarik Maksimum

Untuk analisis kekuatan pipa akan ditinjau pada kasus tarikan dengan gaya tarik horizontal dan vertikal maksimum. Ditunjukkan pada Tabel 4.7 bahwa gaya tarik maksimum terjadi pada kasus tarikan dengan kecepatan 5 Knot dan tinggi bentangan 1 m.

Tabel 4.7. *Screening* Beban Tarik Maksimum

<i>Load Case</i>	V (Knot)	Hsp (m)	Fp (N)	Fz (N)
1	3	0	44996.53	335.07
2	4	0	49006.48	813.23
3	5	0	73679.9	893.01
4	3	1	67159	335.07
5	4	1	73144	813.23
6	5	1	109970	893.02

4.5.2. Validasi Beban Tarikan

Besar gaya tarik maksimum yang digunakan dalam analisis tarikan papan pukat harus divalidasi dengan perhitungan Persamaan (2.5) dan (2.9) berdasarkan DNV-RP-F111. Detail perhitungan gaya tarik papan pukat berdasarkan DNV-RP-F111 dapat dilihat pada **Lampiran A**. Dan berikut hasil validasi gaya tarik papan pukat ditunjukkan pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8. Validasi Beban Tarikan

	ANSYS-Transient Structural (kN)	DNV-RP-F111 (kN)	Cek
Fp	109.970	111.837	98%
Fz	0.893	0.917	98%

4.6. ANALISIS KEKUATAN PIPA

4.6.1. Kondisi Pembebanan

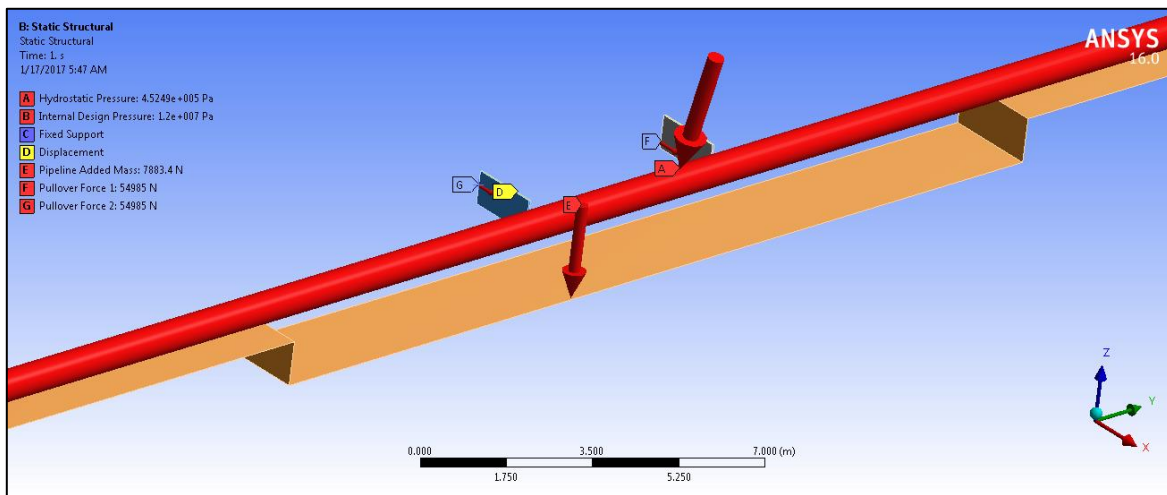
Pembebanan pada suatu struktur sangatlah penting untuk mendapatkan respon dari struktur. Selanjutnya pada analisis kekuatan pipa bawah laut akibat tarikan papan pukat akan diperhitungkan juga kondisi operasi pipa, yaitu tekanan internal (P_i), tekanan Hidrostatik (P_e), dan massa tambah pipa (M_a). Berikut beban-beban yang dimasukkan kedalam model ditampilkan pada **Tabel 4.9.** :

Tabel 4.9. Input Beban

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Tekanan Internal Desain	P_i	12000000.00	Pa
Tekanan Hidrostatik	P_e	452486.25	Pa
Gaya Tarik Papan Pukat	F_p	109970.00	N
Massa Tambah Pipa	M_a	7883.37	N

4.6.2. Permodelan

Dalam analisis kekuatan pipa dimodelkan seperti dalam analisis tarikan yang sebelumnya telah dilakukan, yaitu dimodelkan sepanjang 60m dan meletak pada dasar laut dengan bentangan sedalam 1m dan sepanjang 20m. Dasar laut dimodelkan sebagai benda tegar (*rigid body*), hal ini dikarenakan tidak dilakukannya peninjauan dari deformasi dasar laut. Pipa dan dasar laut dimodelkan dengan koefisien gesek sebesar 0.5 menggunakan fasilitas *contact*. Pipa ditumpu dengan tumpuan jepit dikedua ujungnya. Untuk meninjau respon pipa terhadap tarikan papan pukat saat keadaan operasi, pipa dimodelkan menerima tekanan hidrostatik dan tekanan internal. Berikut permodelan kondisi batas dalam analisis kekuatan pipa ditampilkan pada **Gambar 4.11.**



Gambar 4.11. Permodelan kondisi batas dalam analisis kekuatan pipa

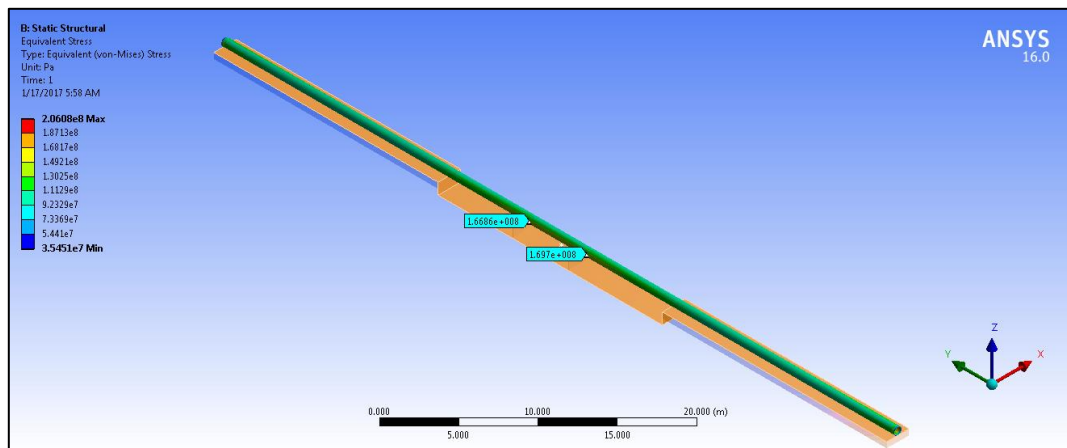
Tabel 4.10. Kondisi batas dalam analisis

Parameter	Notasi	Nilai
Hydrostatic Pressure	A	452486.25.00 Pa
Internal Design Pressure	B	12000000.00 Pa
Pipeline Added Mass	E	7883.37 N
Pullover Force 1	F	54985 N
Pullover Force 2	G	54985 N

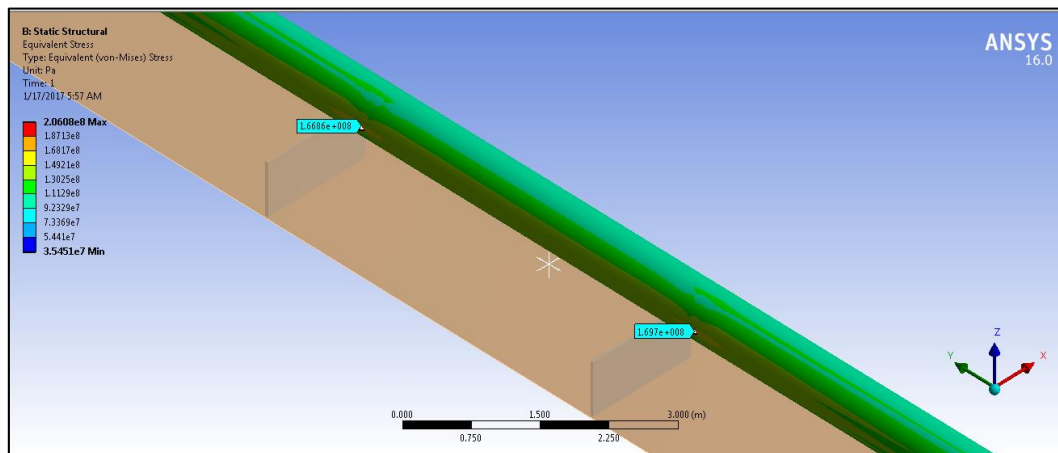
4.6.3. Respon Pipa Terhadap Tarikan Papan Pukat

4.6.3.1. Tegangan

Untuk mengetahui respon tegangan pada pipa dalam *output* perangkat lunak, dipilih *solution* yaitu *equivalent stress (von-mises stress)*. Pada **Gambar 4.12.** sampai dengan **Gambar 4.14.** diperlihatkan bahwa pipa mengalami tegangan maksimum sebesar 206.08 MPa.



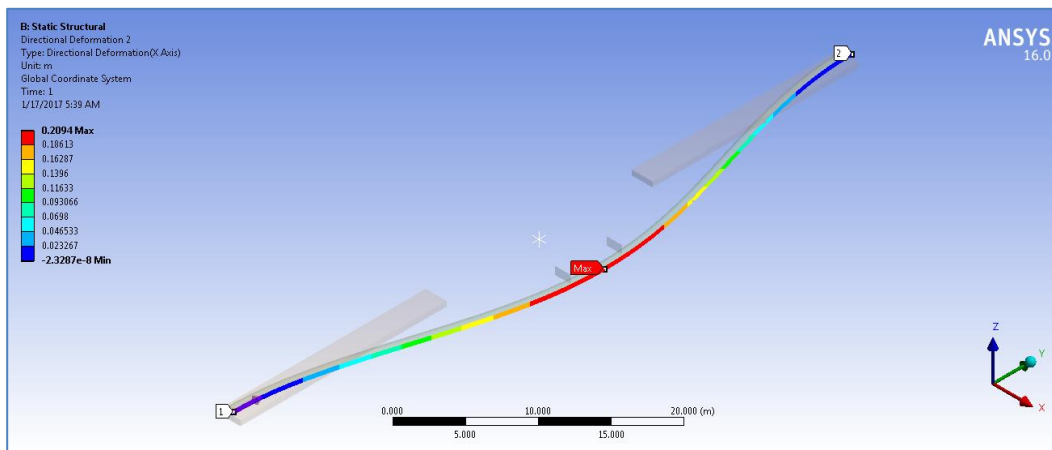
Gambar 4.12. Tegangan Maksimum Pipa Bawah Laut (tampilan isometri)



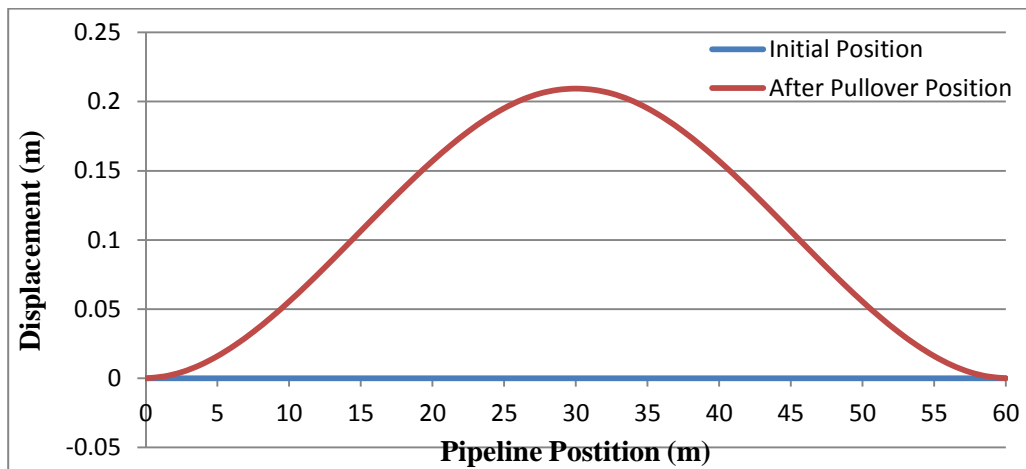
Gambar 4.13. Tegangan Maksimum Pipa Bawah Laut (Detail)

4.6.3.2. Defleksi

Selain tegangan parameter lainnya yang juga ditinjau dalam analisis kekuatan pipa ialah defleksi pipa. Defleksi pipa ditinjau hanya perpindahan pada sumbu-x (horizontal) dikarenakan perpindahan pada sumbu-z relatif kecil. Untuk meninjau defleksi pipa dipilihlah *solution directional deformation* untuk sumbu-x. Defleksi terbesar terjadi pada pipa yang terkena tarikan pukut yaitu sebesar 0.2094 m. Berikut ditampilkan hasil defleksi yang terjadi pada pipa pada **Gambar 4.15.** dan **Gambar 4.16.**



Gambar 4.14. Defleksi Maksimum Pipa Bawah Laut (Skala 2x)



Gambar 4.15. Nilai Defleksi Maksimum Pipa Bawah Laut

4.7.CEK KRITERIA DESAIN

4.7.1. Cek Tegangan Von-Mises

Dari hasil analisis kekuatan pipa akibat tarikan papan pukat didapatkan tegangan von-mises maksimum sebesar 206.08 MPa. Selanjutnya akan ditinjau tegangan tersebut terhadap kriteria desain parameter tegangan berdasarkan DNV-OS-F101. Pada Tabel 4.10 diperlihatkan bahwa pipa memenuhi kriteria desain, maka dapat disimpulkan pipa tidak mengalami kegagalan.

Tabel 4.11. Hasil Cek Kriteria Desain Tegangan sesuai DNV-OS-F101

	Analisis Kekuatan Pipa	DNV-OS-F101	Cek
		(87% fy)	
Tegangan (Mpa)	206.08	389.76	OK

4.7.2. Cek *Local Buckling*

Cek *local buckling* untuk konisi tekanan internal lebih besar dari tekanan eksternal sesuai dengan *pipeline operation* dilakukan menggunakan persamaan (2.24).Detail perhitungan cek *local buckling* dapat dilihat pada **Lampiran B**. Hasil perhitungan cek *local buckling* pipa bawah laut akibat tarikan papan pukat ditampilkan pada **Tabel 4.10. :**

Tabel 4.12. Hasil Cek *local buckling* sesuai DNV-OS-F101

Parameter	Nilai	Satuan
ym	1.15	
ysc	1.26	
Msd	580529.842	N
Mp	4326078.46	Nm
Ssd	-7316245.86	N
Sp	21339187.13	N
α_c	1.066	
α_p	0.641	
pi	12000000.000	Pa
pe	452486.250	Pa
pb	38730691.662	Pa
UC	0.197	

Berdasarkan Tabel diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pipa dengan bentangan sepanjang 20 m dan tinggi bentangan 1 m tidak terjadi kegagalan *local buckling* akibat beban tarikan papan pukat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai topik dalam tugas akhir ini, yaitu :

1. Gaya tarik horizontal (F_p) bertambah 50.35% dan gaya tarik vertikal (F_z) bertambah 9.81% pada setiap peningkatan 30% kecepatan. Dan gaya tarik horizontal (F_p) bertambah 49.25% pada perubahan tinggi bentangan sebesar 1m. Sehingga kecepatan tarik papan pukat merupakan parameter signifikan dalam fenomena tarikan pukat pada pipa.
2. Gaya tarik horizontal (F_p) dan vertikal (F_z) terbesar dialami pada kasus pipa dengan tinggi bentangan (H_{sp}) 1m dan kecepatan tarik pukat 5knot, nilainya berturut-turut 109.970 kN dan 893.02 kN.
3. Akibat gaya tarik horizontal (F_p) dan vertikal (F_z) maksimum, pipa mengalami tegangan maksimum sebesar 206.08 MPa dan defleksi maksimum sebesar 0.2094 m.
4. Pipa tidak mengalami kegagalan akibat tegangan maksimum, dimana tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi kriteria desain tegangan maksimum yaitu 206.08 MPa dari 389.76 MPa. Dan pipa tidak mengalami fenomena *local buckling*. Karena memenuhi kriteria desain menurut DNV-OS-F101 dengan *Unity Check* (UC) 0.197.

5.2.SARAN

Dalam rangka untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih akurat dari respon pipa terhadap beban tarikan pukat dapat dilakukan dengan hal-hal berikut :

1. Mempertimbangkan gaya hidrodinamis, seperti gaya gelombang dan arus.
2. Mempertimbangkan variasi sudut interaksi antara pipa dan papan pukat atau jangkar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Yong dan Bai, Qiang. 2014. **Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation**. Oxford, UK : Gulf Professional Publishing Elsevier
- DNV OS F101. 2003. **Submarine Pipeline Systems**. Det Norske Veritas, Norway.
- DNV RP F111. 2014. **Interference between Trawl Gear and Pipelines**. Det Norske Veritas, Norway.
- Johnsen, Ingrid Berg. 2012. **Clump-Weight Trawl Gear Interaction With Submarine Pipelines**. Norway. Department of Marine Technology of Norwegian University of Science and Technology.
- Nuraini, Ika Puspita. 2016. **Analisis Resiko Pipa Bawah Laut Akibat Tarikan Jangkar Dengan Metode Monte Carlo: Studi Kasus Jaringan Pipa Bawah Laut Tunu Field, Blok Mahakam, Kalimantan Timur**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Orgill, G. dkk. 1992. “*Current Practice in Determining Allowable Pipeline Free Spans*”. *Proc. 11th Offshore Mechanics and Arctic Engineering Conf.*, June 7-11, Calgary, Canada, Pipeline Technology 5A : 139-145.
- Popang, Oridian. 2011. **Penilaian Resiko Unburied Subsea Pipeline Terhadap Trawl Gear Dengan Kondisi Hooking**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Prasetyo, Muhammad Rizal. 2013. **Analisa Kekuatan Pipa Bawah Laut Terhadap Kemungkinan Kecelakaan Akibat Tarikan Jangkar Kapal**. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ruby, Kristian and Hartvig, Peres Akrawi. 2008. *Free-Span Analysis of an Offshore Pipeline. Master Project 2007-2008. Department of Civil Engineering Aalborg University*.
- Selker, Ruud. 2013. **Local Buckling Collapse of Marine Pipelines**. Delft, Belanda : Offshore and Dredging Engineering of Delft University of Technology.

Yohannes, Berhane. 2012. **Trawl Gear Interaction With Subsea Pipelines.**
Stavanger, Norway. Faculty of Science of and Technology of University of
Stavan

LAMPIRAN A
PEHITUNGAN GAYA TARIK
PAPAN PUKAT

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN GAYA TARIK MAKSIMUM PAPAN PUKAT

Data :

m =	258.750	kg	(Trawl Board Steel Mass)
B =	0.366	m	(Half Height of The Trawl Board)
D =	0.660	m	(Pipe Diameter)
k =	100000	N/m	(Warp Line Stiffness)
d =	45	m	(Water Depth)
V =	2.572	m/s	(Tow Velocity 3)
y =	1.3		(Load Factor)
Hsp =	2	m	(Span Height 3)

1. Tinggi Non-Dimensional, \bar{H}

$$\bar{H} = \frac{H_{sp} + \frac{D}{2} + 0.2}{B}$$

Parameter	Nilai	Satuan
Hsp	2	m
D	0.660	m
B	0.366	m
H	6.919	

2. Koefisien Cf untuk papan persegi dan *polyvalent*

$$C_F = 6.6(1 - e^{-0.8\bar{H}})$$

Parameter	Nilai	Satuan
\bar{H}	6.919	
Cf	6.575	

3. Gaya Tarik Horizontal, F_p

$$F_p = C_F V (mk)^{1/2} \gamma$$

Parameter	Nilai	Satuan
Cf	6.575	
V	2.572	m/s
m	258.750	kg
k	100000	N/m
y	1.3	
F_p	111.837	kN

4. Gaya Tarik Vertikal, F_z

$$F_z = F_p (0.2 + 0.8e^{-2.5H})$$

Parameter	Nilai	Satuan
F_p	111.837	kN
\bar{H}	6.919	
F_z	0.91706	kN

LAMPIRAN B
CEK KRITERIA DESAIN *LOCAL*
BUCKLING

LAMPIRAN B

CEK LOCAL BUCKLING -DNV-OS-F101

Data

OD =	0.660	m	(Outer Diameter)
t =	0.024	m	(Wall Thickness)
Pi =	12.000	MPa	(Internal Design Pressure)
Pe =	0.452	MPa	(External Pressure, Hydrostatic Pressure)
SMYS =	448.00	MPa	(Specified Minimum Yield Stress)
SMTS =	530.00	MPa	(Specified Minimum Tensile Stress)

1. Bending Moment (Msd)

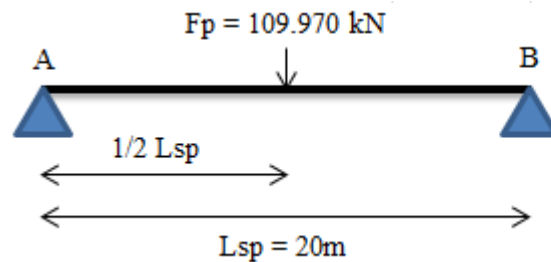
a. Momen bending akibat beban fungsional

$$M_F = \frac{W_{sub} \cdot L^2}{8}$$

Parameter	Nilai	Satuan
Wsub	3.725	N/m
L	20	m
Mfi	186.225	Nm

b. Momen Bending akibat tarikan papan pukat

Free Body Diagram :



Reaksi Peletakan

Parameter	Nilai	Satuan
FAZ	54.985	kN
FBZ	54.985	kN

Momen Maksimum

$$M_{max} = F_{Az} \cdot \frac{1}{2Lsp}$$

Parameter	Nilai	Satuan
Mmax (Mf₂)	549.85	kNm

Bending Momen Desain (Msd)

$$M_{sd} = \sqrt{M_{f1}^2 + M_{f2}^2}$$

Parameter	Nilai	Satuan
Msd	580.530	kNm

2. Design Axial Effective Force (Ssd)

$$S_{eff} = H_{eff} - (1 - 2 \cdot \nu) \cdot (P_i) \cdot \frac{\pi}{4} (D_i)^2 - \alpha_e \cdot \Delta T \cdot E \cdot A_s$$

$$S_{sd} = S_{eff} \cdot \gamma_F \cdot \gamma_C$$

Parameter	Nilai	Satuan
Heff	0.000	
ν	0.300	
Pi	12000000.000	MPa
Di	0.613	m
αe	0.000	
ΔT	50.000	°C
E	2.07E+11	Pa
As	0.0476	m ²
Seff	-6837612.953	N
γF	1.07	
γC	1	
Ssd	-7316245.86	N

3. Denote Plastic Capacities (Mp dan Sp)

3.1. Denote Plastic Moment Capacities (Mp)

$$f_y = (SMYS - f_{y,temp}) \cdot \alpha_u$$

$$M_p = f_y \cdot (D - t)^2 \cdot t$$

Parameter	Nilai	Satuan
SMYS	448.00	MPa
$f_{y,temp}$	0	MPa
α_u	1	
f_y	448	MPa
OD	0.660	m
t	0.024	m
Mp	4326078.46	Nm

3.2. Denote Plastic Axial Force Capacities (Sp)

$$f_y = (SMYS - f_{y,temp}) \cdot \alpha_u$$

$$S_p = f_y \cdot \pi \cdot (D - t) \cdot t$$

Parameter	Nilai	Satuan
SMYS	448.00	MPa
$f_{y,temp}$	0	MPa
α_u	1	
f_y	448	MPa
OD	0.660	m
t	0.024	m
Sp	21339187.13	N

4. Pressure Containment / Brusting (Pb)

$$p_b(t) = \frac{2 \cdot t}{D - t} \cdot f_{cb} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}}$$

$$f_{cb} = \text{Min} \left[f_y; \frac{f_u}{1.15} \right]$$

Parameter	Nilai	Satuan
OD	0.660	m
t	0.024	m
fy	448	MPa
fu/1.15	460.870	MPa
Pb	38730691.662	Pa

5. Parameter Aliran Tegangan (αc)

$$\alpha_c = (1 - \beta) + \beta \cdot f_u / f_y$$

$$\beta = \frac{60 - D/t}{90}$$

Parameter	Nilai	Satuan
OD	0.660	m
t	0.024	m
fu	530.000	MPa
fy	448.000	MPa
β	0.359	
αc	1.066	

6. Parameter Tekanan Beban Kombinasi (α_p)

$$\alpha_p = \begin{cases} 1 - \beta & \frac{p_i - p_e}{p_b} < \frac{2}{3} \\ 1 - 3\beta \left(1 - \frac{p_i - p_e}{p_b}\right) & \frac{p_i - p_e}{p_b} \geq \frac{2}{3} \end{cases}$$

$$\beta = \frac{60 - D_0/t_2}{90}$$

Parameter	Nilai	Satuan
Pi	12.000	MPa
Pe	0.452	MPa
β	0.359	
α_p	0.641	

6. Cek Local Buckling

$$\left\{ \gamma_m \cdot \gamma_{SC} \cdot \frac{|M_{sd}|}{\alpha_c \cdot M_p(t_2)} + \left\{ \frac{\gamma_m \cdot \gamma_{SC} \cdot S_{sd}(p_i)}{\alpha_c \cdot S_p(t_2)} \right\}^2 \right\}^2 + \left(\alpha_p \cdot \frac{p_i - p_e}{\alpha_c \cdot p_b(t_2)} \right)^2 \leq 1$$

Parameter	Nilai	Satuan
γ_m	1.15	
γ_{sc}	1.26	
Msd	580529.842	N
Mp	4326078.46	Nm
Ssd	-7316245.86	N
Sp	21339187.13	N
α_c	1.066	
α_p	0.641	
pi	12000000.00	Pa
pe	0	Pa
pb	452486.250	Pa
	38730691.66	Pa
UC	0.197	

LAMPIRAN C
HASIL OUTPUT ANALISIS TARIKAN
PAPAN PUKAT

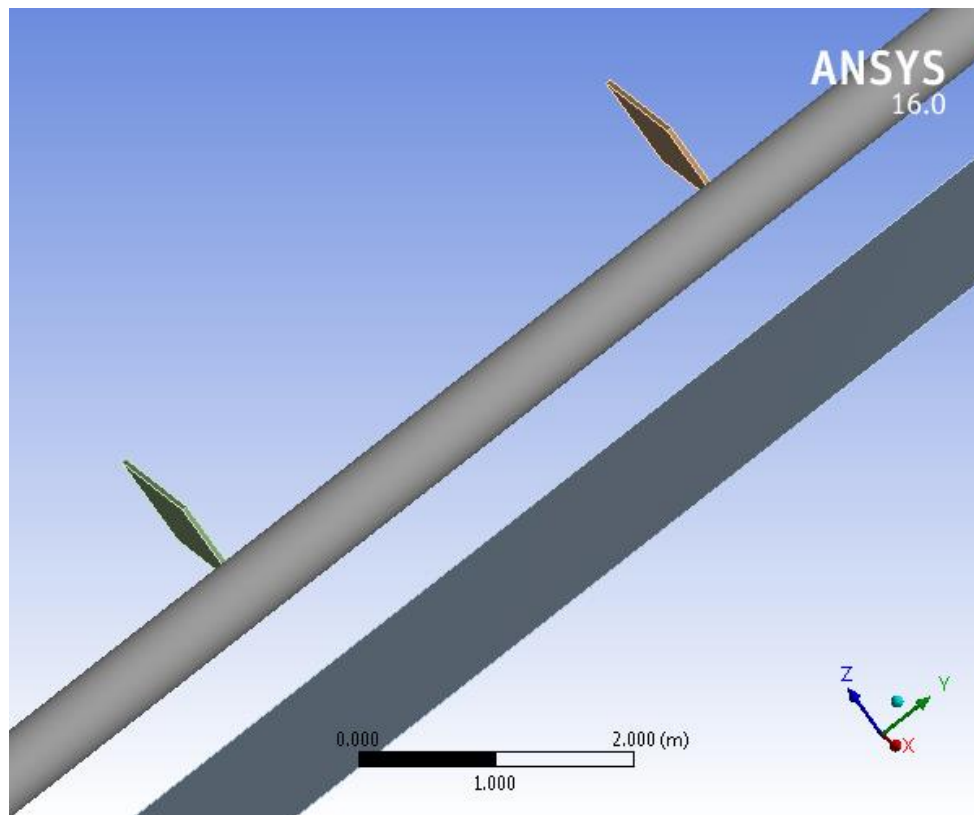
LAMPIRAN C

OUTPUT ANALISIS TARIKAN PAPAN PUKAT ANSYS TRANSIENT STRUCTURAL



- Project

First Saved	Monday, December 19, 2016
Last Saved	Wednesday, January 04, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(D4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [TRAWLBOARDS](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [MultiZone](#)
 - [Transient \(D5\)](#)
 - [Initial Conditions](#)
 - [Initial Condition](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Fixed Support](#)
 - [Solution \(D6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Number Contacting](#)
 - [Results](#)
 - [Force Reaction](#)
- [Material Data](#)
 - [API X65](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (D4)

8 Geometry

TABLE 2
Model (D4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\P3-Enggartyasto Haryoyudhanto\Transient Analysis\Hsp 1m\Hsp

	1m_files\dp0\SYS-2\DM\SYS-2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	3. m
Length Y	60. m
Length Z	1.85 m
Properties	
Volume	15.828 m ³
Mass	1.2425e+005 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	4
Active Bodies	4
Nodes	50437
Elements	7799
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\user\AppData\Roaming\Ansys\v160
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (D4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>PIPELINE</i>	<i>SEABED</i>
State	Meshed	

Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	Rigid
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Thickness		0.1 m
Thickness Mode		Manual
Offset Type		Top
Material		
Assignment	API X65	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	0.50781 m	2. m
Length Y	60. m	
Length Z	0.508 m	1. m
Properties		
Volume	3.3377 m³	12.4 m³
Mass	26201 kg	97340 kg
Centroid X	-4. m	
Centroid Y	1.7073e-010 m	-2.7269e-012 m
Centroid Z	0.254 m	-0.33871 m
Moment of Inertia Ip1	7.8498e+006 kg·m²	2.8595e+007 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1439.4 kg·m²	53726 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	7.8498e+006 kg·m²	2.8606e+007 kg·m²
Surface Area(approx.)		124. m²
Statistics		
Nodes	48734	1195
Elements	7406	337
Mesh Metric	None	

TABLE 4
Model (D4) > Geometry > Body Groups

Object Name	TRAWLBOARDS
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Definition	
Suppressed	No
Assignment	Structural Steel
Coordinate System	Default Coordinate System
Bounding Box	
Length X	1.5 m
Length Y	4.54 m

Length Z	0.75 m
Properties	
Volume	9.e-002 m ³
Mass	706.5 kg
Centroid X	-5.25 m
Centroid Y	-2.5802e-003 m
Centroid Z	0.475 m
Moment of Inertia Ip1	3609.9 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	165.59 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	3709.2 kg·m ²
Statistics	
Nodes	508
Elements	56
Mesh Metric	None

TABLE 5
Model (D4) > Geometry > TRAWLBOARDS > Parts

Object Name	Part 3	Part 4
State	Meshed	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Nonlinear Effects	Yes	
Thermal Strain Effects	Yes	
Bounding Box		
Length X	1.5 m	
Length Y	4.e-002 m	
Length Z	0.75 m	
Properties		
Volume	4.5e-002 m³	
Mass	353.25 kg	
Centroid X	-5.25 m	
Centroid Y	-2.2526 m	2.2474 m
Centroid Z	0.475 m	
Moment of Inertia Ip1	16.606 kg·m²	
Moment of Inertia Ip2	82.793 kg·m²	
Moment of Inertia Ip3	66.281 kg·m²	
Statistics		
Nodes	254	
Elements	28	

Mesh Metric	None
-------------	------

9 Coordinate Systems

TABLE 6
Model (D4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

10 Connections

TABLE 7
Model (D4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 8
Model (D4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	0.15026 m
Use Range	No
Face/Face	Yes

Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	2
Active Connections	2

TABLE 9
Model (D4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Frictional - PIPELINE To SEABED	Frictionless - Multiple To PIPELINE
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	2 Faces	2 Bodies
Target	2 Faces	1 Body
Contact Bodies	PIPELINE	Multiple
Target Bodies	SEABED	PIPELINE
Target Shell Face	Top	
Shell Thickness Effect	No	
Definition		
Type	Frictional	Frictionless
Friction Coefficient	0.5	
Scope Mode	Automatic	Manual
Behavior	Program Controlled	
Trim Contact	Program Controlled	
Trim Tolerance	0.15026 m	
Suppressed	No	
Advanced		
Formulation	Program Controlled	
Detection Method	Program Controlled	
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled	
Normal Stiffness	Program Controlled	
Update Stiffness	Program Controlled	
Stabilization Damping Factor	0.	
Pinball Region	Program Controlled	
Time Step Controls	None	
Penetration Tolerance		Program Controlled
Geometric Modification		
Interface Treatment	Add Offset, No Ramping	
Offset	0. m	
Contact Geometry Correction	None	
Target Geometry	None	

11 Mesh

TABLE 10
Model (D4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Solver Preference	Mechanical APDL
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Use Fixed Size Function For Sheets	No
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Curvature Normal Angle	Default (30.0 °)
Min Size	Default (9.537e-002 m)
Max Face Size	Default (0.476850 m)
Max Size	Default (0.476850 m)
Growth Rate	Default
Minimum Edge Length	4.e-002 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)

Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Rigid Face Mesh Type	Quad/Tri
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (8.5833e-002 m)
Generate Pinch on Refresh	No
Sheet Loop Removal	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (7.1527e-002 m)
Statistics	
Nodes	50437
Elements	7799
Mesh Metric	None

TABLE 11
Model (D4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	<i>MultiZone</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Bodies
Definition	
Suppressed	No
Method	MultiZone
Mapped Mesh Type	Hexa
Surface Mesh Method	Program Controlled
Free Mesh Type	Not Allowed
Element Midside Nodes	Use Global Setting
Src/Trg Selection	Automatic
Source Scoping Method	Program Controlled
Source	Program Controlled
Sweep Size Behavior	Sweep Element Size
Sweep Element Size	0.3 m
Advanced	
Preserve Boundaries	Protected
Mesh Based Defeaturing	Off
Minimum Edge Length	4.e-002 m
Write ICEM CFD Files	No

Transient (D5)

TABLE 12
Model (D4) > Analysis

Object Name	<i>Transient (D5)</i>
State	Solved

Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Transient
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 13
Model (D4) > Transient (D5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

TABLE 14
Model (D4) > Transient (D5) > Initial Conditions > Initial Condition

Object Name	Modal (None)	Velocity
State	Fully Defined	
Definition		
Pre-Stress Environment	None	
Input Type		Velocity
Define By		Components
Coordinate System		Global Coordinate System
X Component		2.6 m/s
Y Component		0. m/s
Z Component		0. m/s
Suppressed		No
Scope		
Scoping Method		Geometry Selection
Geometry		2 Bodies

TABLE 15
Model (D4) > Transient (D5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	On
Define By	Time
Initial Time Step	1.e-002 s
Minimum Time Step	1.e-002 s
Maximum Time Step	1.e-002 s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	On

Spring Stiffness	Program Controlled
Large Deflection	On
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Unsymmetric
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Damping Controls	
Stiffness Coefficient Define By	Direct Input
Stiffness Coefficient	0.
Mass Coefficient	0.
Numerical Damping	Program Controlled
Numerical Damping Value	0.1
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\P3-Enggartyasto Haryoyudhanto\Transient Analysis\Hsp 1m\Hsp 1m_files\dp0\SYS-2\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 16
Model (D4) > Transient (D5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
Definition	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

12 Solution (D6)

TABLE 17
Model (D4) > Transient (D5) > Solution

Object Name	<i>Solution (D6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done
Post Processing	
Calculate Beam Section Results	No

TABLE 18
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 19
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Solution Information > Result Charts

Object Name	<i>Number Contacting</i>
State	Solved
Definition	
Type	Number Contacting
Suppressed	No
Scope	

Contact Region	Frictionless - Multiple To PIPELINE
Enhanced Tracking	No
Results	
Minimum	-1.
Maximum	2.

FIGURE 1
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Solution Information > Number
Contacting

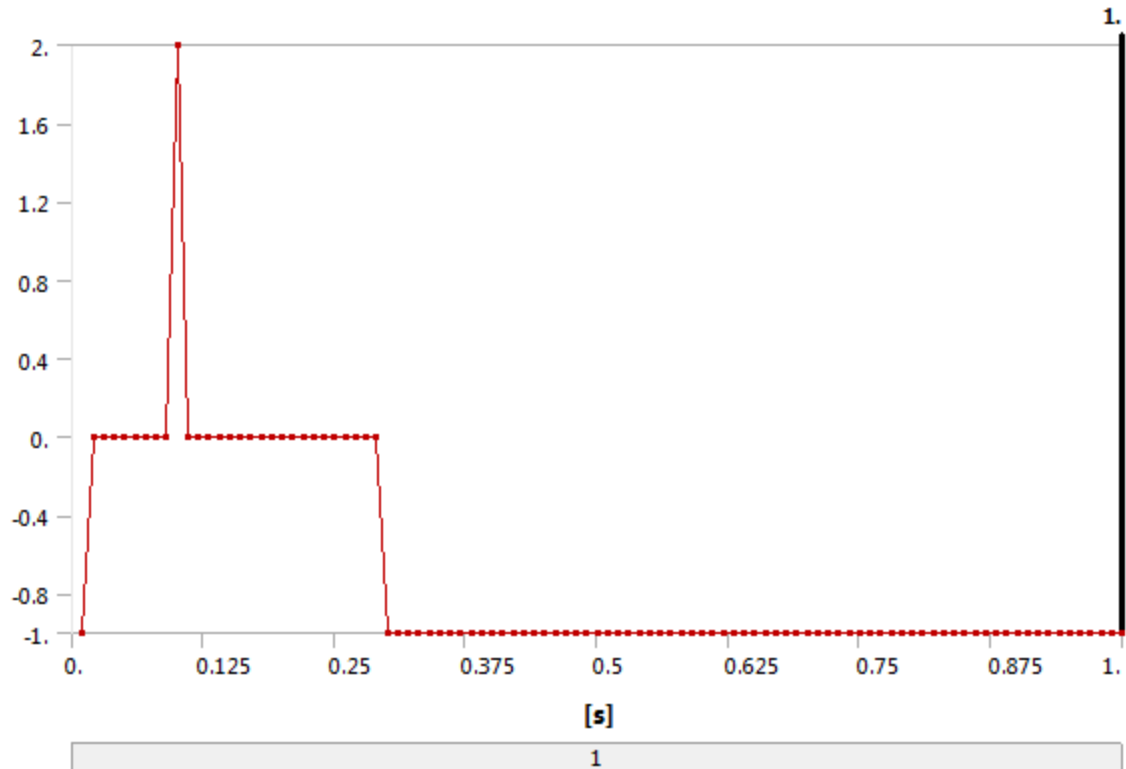


TABLE 20
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Results

Object Name	Equivalent Stress	Equivalent Elastic Strain	Total Deformation
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Body		
Definition			
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Equivalent Elastic Strain	Total Deformation
By	Time		
Display Time	Last		
Calculate Time History	Yes		

Identifier			
Suppressed	No		
Integration Point Results			
Display Option	Averaged		
Average Across Bodies	No		
Results			
Minimum	25968 Pa	1.4352e-007 m/m	0. m
Maximum	1.6812e+007 Pa	8.4066e-005 m/m	4.4179e-002 m
Minimum Value Over Time			
Minimum	0. Pa	0. m/m	0. m
Maximum	56263 Pa	7.1048e-007 m/m	0. m
Maximum Value Over Time			
Minimum	0. Pa	0. m/m	0. m
Maximum	7.063e+007 Pa	3.8332e-004 m/m	5.1517e-002 m
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	100		
Iteration Number	449		

FIGURE 2
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Equivalent Stress

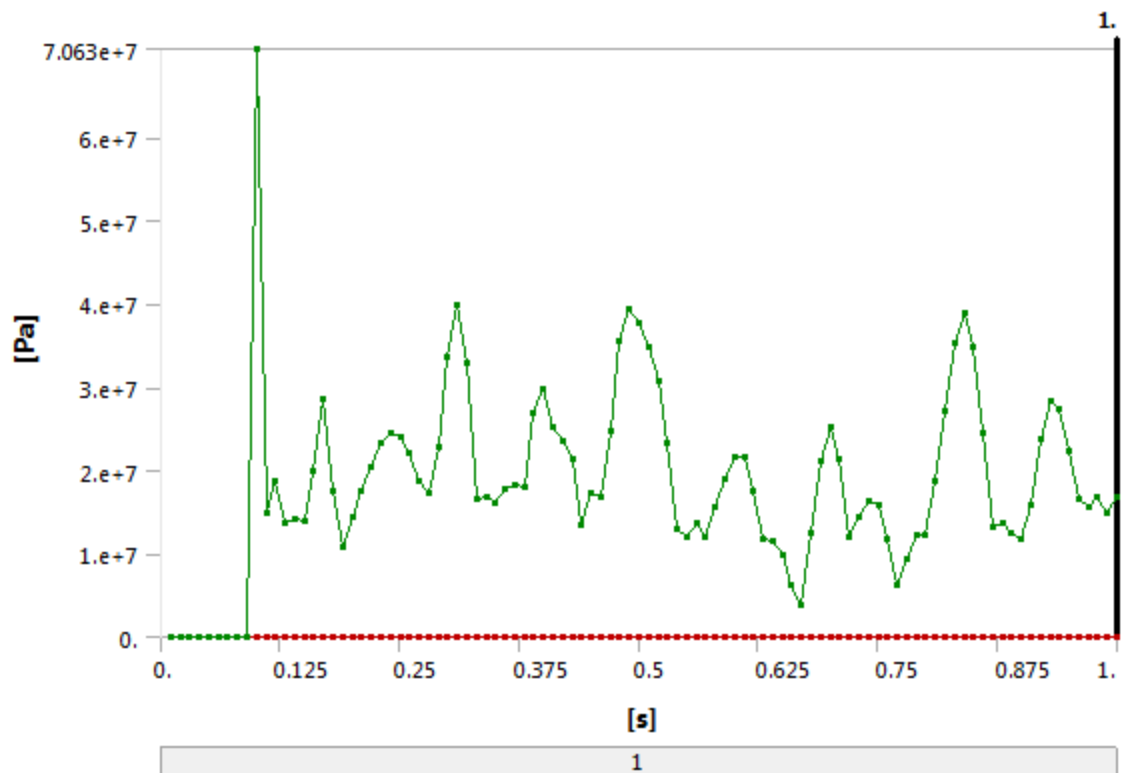


TABLE 21
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.e-002	0.	0.
2.e-002		
3.e-002		
4.e-002		
5.e-002		
6.e-002		
7.e-002		
8.e-002		
9.e-002		
1.e-001	1358.3	7.063e+007
0.11	5015.8	1.4959e+007
0.12	5463.1	1.882e+007
0.13	4211.8	1.3776e+007
0.14	12461	1.4075e+007
0.15	31588	1.3939e+007
0.16	34088	1.9839e+007
0.17	18339	2.8651e+007
0.18	20442	1.7592e+007
0.19	9197.	1.0831e+007
0.2	13868	1.4492e+007
0.21	11488	1.7646e+007
0.22	38122	2.0463e+007
0.23	38538	2.3362e+007
0.24	15183	2.4472e+007
0.25	22415	2.3931e+007
0.26	22518	2.2111e+007
0.27	11460	1.8778e+007
0.28	36033	1.7206e+007
0.29	20732	2.2727e+007
0.3	6235.7	3.3662e+007
0.31	6811.2	3.9872e+007
0.32	8152.6	3.2989e+007
0.33	5497.5	1.6643e+007
0.34	35997	1.6787e+007
0.35	17690	1.6098e+007
0.36	39457	1.773e+007
0.37	32096	1.8224e+007
0.38	4854.8	1.8074e+007
0.39	56263	2.6836e+007
0.4	53514	2.972e+007
0.41	42819	2.5134e+007
0.42	46721	2.3615e+007
0.43	4580.5	2.1413e+007
0.44	32320	1.3506e+007

0.45	38367	1.733e+007
0.46	27366	1.6832e+007
0.47	23228	2.4759e+007
0.48	15238	3.5649e+007
0.49	41243	3.9335e+007
0.5	5651.4	3.7718e+007
0.51	5195.	3.4815e+007
0.52	25942	3.072e+007
0.53	9135.4	2.3352e+007
0.54	13990	1.295e+007
0.55	6533.1	1.2115e+007
0.56	3046.	1.3707e+007
0.57	15472	1.2121e+007
0.58	43123	1.5723e+007
0.59	6952.2	1.8941e+007
0.6	7945.9	2.1528e+007
0.61	10287	2.1515e+007
0.62	23065	1.7432e+007
0.63	30368	1.1809e+007
0.64	23921	1.1449e+007
0.65	18096	9.9335e+006
0.66	15079	6.1327e+006
0.67	3656.7	3.8638e+006
0.68	12503	1.2525e+007
0.69	9013.9	2.1235e+007
0.7	5359.7	2.5156e+007
0.71	16209	2.14e+007
0.72	12831	1.2007e+007
0.73	10977	1.4482e+007
0.74	8786.2	1.6331e+007
0.75	5786.3	1.5928e+007
0.76	4352.4	1.1723e+007
0.77	6919.5	6.2663e+006
0.78	17145	9.4748e+006
0.79	26354	1.2352e+007
0.8	21117	1.2162e+007
0.81	14365	1.8644e+007
0.82	8385.7	2.7217e+007
0.83	9055.4	3.5412e+007
0.84	15369	3.8912e+007
0.85	36877	3.4824e+007
0.86	10236	2.4388e+007
0.87	17099	1.3219e+007
0.88	27623	1.3785e+007
0.89	24849	1.2534e+007
0.9	6807.2	1.1841e+007

0.91	25094	1.5967e+007
0.92	26220	2.3868e+007
0.93	25258	2.837e+007
0.94	10310	2.7468e+007
0.95	14354	2.2346e+007
0.96	27901	1.647e+007
0.97	39166	1.5566e+007
0.98	24368	1.685e+007
0.99	25698	1.5003e+007
1.	25968	1.6812e+007

FIGURE 3
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Equivalent Elastic Strain

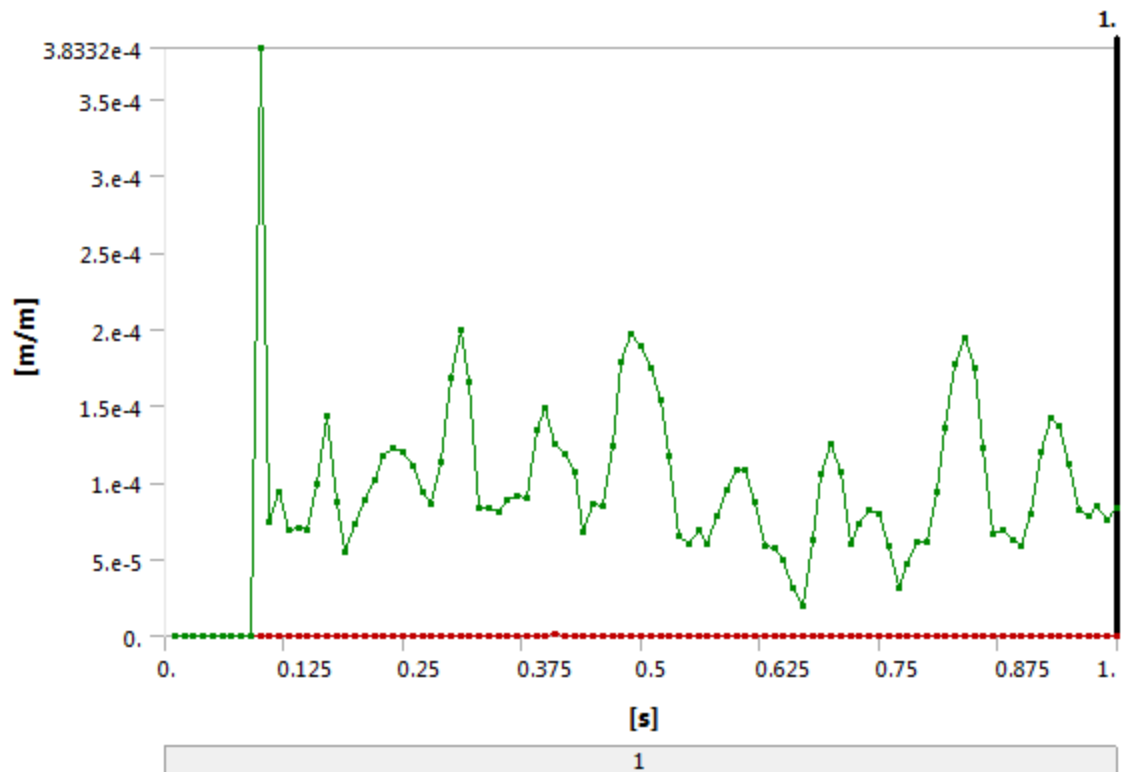


TABLE 22
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Equivalent Elastic Strain

Time [s]	Minimum [m/m]	Maximum [m/m]
1.e-002	0.	0.
2.e-002		
3.e-002		
4.e-002		
5.e-002		
6.e-002		
7.e-002		

8.e-002		
9.e-002		
1.e-001	1.6104e-008	3.8332e-004
0.11	2.6371e-008	7.4796e-005
0.12	5.374e-008	9.4102e-005
0.13	5.031e-008	6.888e-005
0.14	6.5502e-008	7.0376e-005
0.15	2.4637e-007	6.9694e-005
0.16	3.1288e-007	9.9202e-005
0.17	1.2501e-007	1.4326e-004
0.18	2.4793e-007	8.7962e-005
0.19	4.7601e-008	5.4154e-005
0.2	1.4085e-007	7.2461e-005
0.21	1.8865e-007	8.8234e-005
0.22	2.4138e-007	1.0232e-004
0.23	2.5191e-007	1.1681e-004
0.24	1.078e-007	1.2236e-004
0.25	2.0533e-007	1.1966e-004
0.26	3.2597e-007	1.1056e-004
0.27	2.7438e-007	9.3893e-005
0.28	2.1347e-007	8.6074e-005
0.29	1.7906e-007	1.1363e-004
0.3	1.5367e-007	1.6831e-004
0.31	5.0088e-008	1.9936e-004
0.32	1.106e-007	1.6495e-004
0.33	3.9325e-008	8.3215e-005
0.34	2.9145e-007	8.3935e-005
0.35	3.4489e-007	8.0491e-005
0.36	2.3277e-007	8.865e-005
0.37	4.6249e-007	9.1121e-005
0.38	2.5804e-007	9.037e-005
0.39	3.07e-007	1.3418e-004
0.4	2.694e-007	1.486e-004
0.41	7.1048e-007	1.2567e-004
0.42	3.4635e-007	1.1807e-004
0.43	1.6683e-007	1.0707e-004
0.44	3.3491e-007	6.7563e-005
0.45	3.1186e-007	8.6648e-005
0.46	1.8554e-007	8.4159e-005
0.47	2.96e-007	1.238e-004
0.48	8.3619e-008	1.7825e-004
0.49	3.4171e-007	1.9668e-004
0.5	7.0551e-008	1.8859e-004
0.51	2.5404e-007	1.7408e-004
0.52	1.6984e-007	1.536e-004
0.53	7.1301e-008	1.1676e-004

0.54	1.6719e-007	6.4749e-005
0.55	5.7724e-008	6.0573e-005
0.56	1.7475e-007	6.8537e-005
0.57	7.8629e-008	6.0603e-005
0.58	2.2918e-007	7.8613e-005
0.59	3.7371e-008	9.4703e-005
0.6	2.8375e-007	1.0764e-004
0.61	6.0404e-008	1.0757e-004
0.62	2.7715e-007	8.7158e-005
0.63	2.6486e-007	5.9047e-005
0.64	1.5525e-007	5.7247e-005
0.65	9.376e-008	4.9668e-005
0.66	1.0817e-007	3.0664e-005
0.67	3.0283e-008	1.9319e-005
0.68	1.3336e-007	6.263e-005
0.69	8.1889e-008	1.0618e-004
0.7	2.4629e-007	1.2579e-004
0.71	8.2142e-008	1.0701e-004
0.72	1.2501e-007	6.0037e-005
0.73	1.3258e-007	7.2412e-005
0.74	1.4369e-007	8.1655e-005
0.75	1.7506e-007	7.9641e-005
0.76	5.8009e-008	5.8613e-005
0.77	1.4088e-007	3.1332e-005
0.78	1.2589e-007	4.7374e-005
0.79	2.2751e-007	6.1759e-005
0.8	1.1084e-007	6.0813e-005
0.81	7.2654e-008	9.3226e-005
0.82	4.3461e-008	1.3609e-004
0.83	5.2628e-008	1.7707e-004
0.84	3.6827e-007	1.9457e-004
0.85	3.347e-007	1.7413e-004
0.86	2.1258e-007	1.2195e-004
0.87	1.7576e-007	6.6093e-005
0.88	2.9491e-007	6.8926e-005
0.89	2.6412e-007	6.2671e-005
0.9	2.2766e-007	5.9203e-005
0.91	1.5898e-007	7.9833e-005
0.92	1.792e-007	1.1934e-004
0.93	2.1075e-007	1.4185e-004
0.94	1.4924e-007	1.3734e-004
0.95	1.5206e-007	1.1173e-004
0.96	1.4514e-007	8.2351e-005
0.97	3.2324e-007	7.7831e-005
0.98	5.6722e-007	8.4248e-005
0.99	4.4457e-007	7.5013e-005

1.	1.4352e-007	8.4066e-005
----	-------------	-------------

FIGURE 4
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Total Deformation

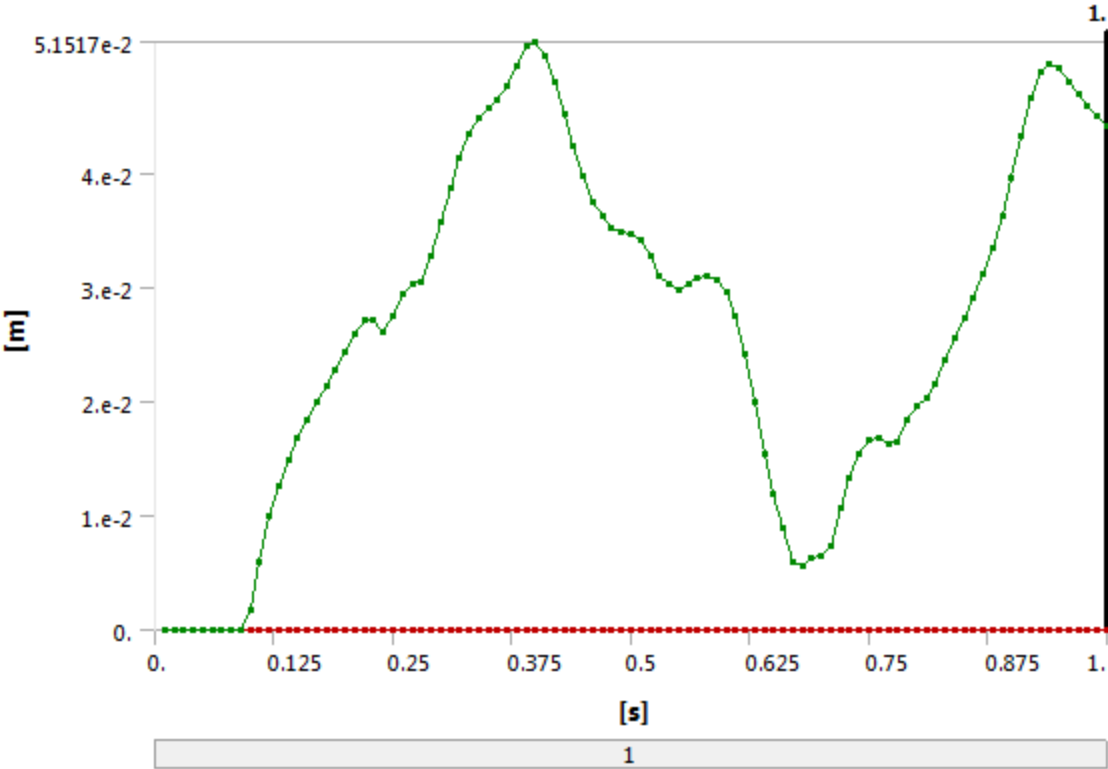


TABLE 23
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]
1.e-002	0.	0.
2.e-002		
3.e-002		
4.e-002		
5.e-002		
6.e-002		
7.e-002		
8.e-002		
9.e-002		
1.e-001		1.7282e-003
0.11		6.0367e-003
0.12		1.006e-002
0.13		1.27e-002
0.14		1.4891e-002
0.15		1.6774e-002
0.16		1.8485e-002

0.17		1.9994e-002
0.18		2.1451e-002
0.19		2.2846e-002
0.2		2.4381e-002
0.21		2.5985e-002
0.22		2.7154e-002
0.23		2.7225e-002
0.24		2.6091e-002
0.25		2.7567e-002
0.26		2.9431e-002
0.27		3.031e-002
0.28		3.0548e-002
0.29		3.2776e-002
0.3		3.5764e-002
0.31		3.8691e-002
0.32		4.137e-002
0.33		4.3486e-002
0.34		4.4921e-002
0.35		4.5727e-002
0.36		4.6397e-002
0.37		4.7645e-002
0.38		4.949e-002
0.39		5.1159e-002
0.4		5.1517e-002
0.41		5.0259e-002
0.42		4.7933e-002
0.43		4.5223e-002
0.44		4.2477e-002
0.45		3.9766e-002
0.46		3.7565e-002
0.47		3.6346e-002
0.48		3.5185e-002
0.49		3.4798e-002
0.5		3.4753e-002
0.51		3.4148e-002
0.52		3.2712e-002
0.53		3.105e-002
0.54		3.0254e-002
0.55		2.9873e-002
0.56		3.0396e-002
0.57		3.0905e-002
0.58		3.1069e-002
0.59		3.0695e-002
0.6		2.9604e-002
0.61		2.7467e-002
0.62		2.4156e-002

0.63		1.995e-002
0.64		1.5491e-002
0.65		1.1987e-002
0.66		8.9459e-003
0.67		5.9431e-003
0.68		5.5363e-003
0.69		6.2782e-003
0.7		6.4604e-003
0.71		7.3787e-003
0.72		1.0651e-002
0.73		1.3402e-002
0.74		1.5494e-002
0.75		1.6677e-002
0.76		1.6846e-002
0.77		1.6299e-002
0.78		1.6485e-002
0.79		1.84e-002
0.8		1.9686e-002
0.81		2.039e-002
0.82		2.1573e-002
0.83		2.3702e-002
0.84		2.5529e-002
0.85		2.7263e-002
0.86		2.9121e-002
0.87		3.1156e-002
0.88		3.3476e-002
0.89		3.6264e-002
0.9		3.9607e-002
0.91		4.3259e-002
0.92		4.657e-002
0.93		4.8834e-002
0.94		4.9647e-002
0.95		4.92e-002
0.96		4.809e-002
0.97		4.6894e-002
0.98		4.5879e-002
0.99		4.5e-002
1.		4.4179e-002

TABLE 24
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Probes

Object Name	<i>Force Reaction</i>
State	Solved
Definition	
Type	Force Reaction
Location Method	Boundary Condition
Boundary Condition	Fixed Support

Orientation	Global Coordinate System
Suppressed	No
Options	
Result Selection	All
Display Time	End Time
Results	
X Axis	9864.9 N
Y Axis	-0.14031 N
Z Axis	-236.26 N
Total	9867.8 N
Maximum Value Over Time	
X Axis	1.0997e+005 N
Y Axis	1.6302 N
Z Axis	893.02 N
Total	1.0997e+005 N
Minimum Value Over Time	
X Axis	-94746 N
Y Axis	-2.2789 N
Z Axis	-1036.8 N
Total	0. N
Information	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	100
Iteration Number	449

FIGURE 5
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Force Reaction

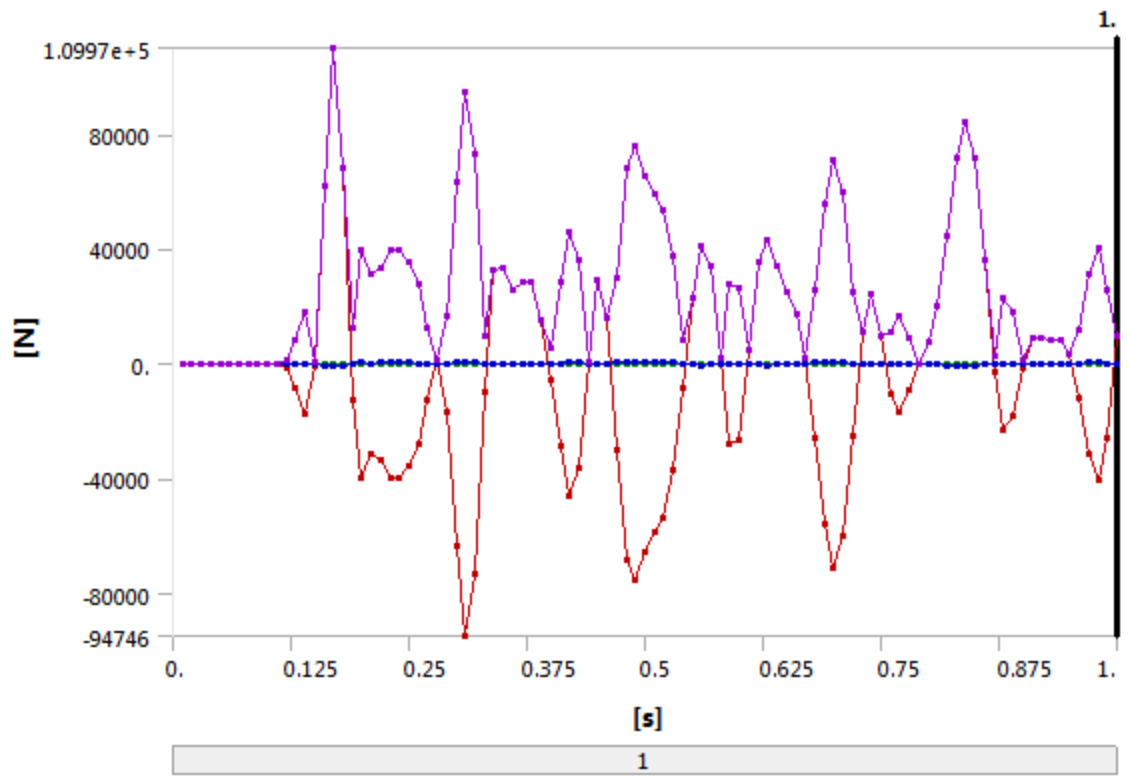


TABLE 25
Model (D4) > Transient (D5) > Solution (D6) > Force Reaction

Time [s]	Force Reaction (X) [N]	Force Reaction (Y) [N]	Force Reaction (Z) [N]	Force Reaction (Total) [N]
1.e-002	0.	0.	0.	0.
2.e-002				
3.e-002				
4.e-002				
5.e-002				
6.e-002				
7.e-002				
8.e-002				
9.e-002				
1.e-001	21.505	-0.19815	-0.19828	21.507

0.11	50.63	-0.54728	-0.47366	50.635
0.12	-1250.	0.11901	11.894	1250.1
0.13	-8199.8	0.64133	77.888	8200.2
0.14	-17755	-0.50026	167.24	17756
0.15	-966.12	-0.65498	4.1884	966.13
0.16	61986	0.49522	-594.04	61989
0.17	1.0997e+005	1.629	-1036.8	1.0997e+005
0.18	67919	-0.34823	-618.41	67922
0.19	-12630	-2.2789	143.56	12631
0.2	-39789	0.34214	379.44	39790
0.21	-31215	1.3971	289.66	31217
0.22	-33240	-0.4093	312.94	33242
0.23	-39776	-0.86556	374.05	39777
0.24	-39822	0.93358	370.65	39823
0.25	-35251	0.69691	324.72	35252
0.26	-28145	-1.0599	254.95	28146
0.27	-12613	-0.42112	107.49	12614
0.28	1583.6	0.89577	-15.421	1583.6
0.29	-16748	0.60609	179.27	16749
0.3	-63280	-0.23953	623.65	63283
0.31	-94746	-0.81445	893.02	94751
0.32	-72822	5.8787e-002	645.25	72825
0.33	-9810.6	0.96008	39.048	9810.7
0.34	32586	-0.49228	-331.63	32588
0.35	33276	-0.99784	-310.95	33278
0.36	26044	0.13265	-241.49	26046
0.37	28602	0.50881	-268.18	28603
0.38	28581	-0.11399	-259.26	28582
0.39	15333	-4.7036e-002	-123.2	15334
0.4	-5285.9	0.58318	76.72	5286.4
0.41	-28581	0.14111	294.24	28583
0.42	-46035	-0.38848	437.3	46037
0.43	-36177	-0.31791	307.28	36179
0.44	829.3	0.22368	-55.11	831.13
0.45	29429	0.99341	-289.19	29431
0.46	16167	-0.19841	-108.85	16167
0.47	-30041	-1.9291	346.53	30043
0.48	-68390	-0.17364	677.55	68393
0.49	-75546	1.6302	705.76	75549
0.5	-65352	8.4348e-002	597.54	65355
0.51	-58817	-1.1137	538.76	58819
0.52	-53901	9.1396e-002	482.56	53903
0.53	-37286	0.59456	305.04	37287
0.54	-8132.3	-0.56625	19.055	8132.3
0.55	22630	-0.3401	-259.73	22632
0.56	41022	0.91916	-396.42	41024

0.57	33929	0.90613	-280.72	33930
0.58	2175.9	-8.5146e-002	41.043	2176.3
0.59	-27994	-0.97704	292.3	27996
0.6	-26688	-0.38471	217.54	26689
0.61	4513.	0.85901	-107.5	4514.3
0.62	35239	2.4898e-002	-373.04	35241
0.63	43184	-1.1407	-405.27	43186
0.64	34272	-9.1993e-002	-301.12	34273
0.65	24875	0.99418	-212.12	24876
0.66	17518	0.35584	-134.41	17518
0.67	2132.7	-0.25928	33.826	2133.
0.68	-25590	0.11671	310.82	25592
0.69	-55648	-5.6486e-003	577.71	55651
0.7	-71056	-0.59451	670.58	71059
0.71	-59783	-0.49909	500.38	59785
0.72	-25133	0.13827	141.97	25134
0.73	11182	0.84624	-171.4	11183
0.74	24064	0.41474	-225.99	24065
0.75	9746.	-0.8913	-46.188	9746.2
0.76	-10749	-0.42641	136.93	10750
0.77	-16885	0.9228	157.1	16886
0.78	-9138.6	0.25703	62.332	9138.8
0.79	169.48	-0.99909	-26.465	171.53
0.8	7403.4	-0.49249	-101.54	7404.1
0.81	20452	0.44433	-248.65	20453
0.82	44444	0.27416	-493.61	44446
0.83	71373	0.10992	-729.16	71377
0.84	84509	0.42741	-790.25	84512
0.85	71567	0.31554	-591.29	71570
0.86	35873	-0.24784	-214.14	35873
0.87	-3062.4	-0.76725	126.84	3065.
0.88	-23064	-0.33342	243.55	23065
0.89	-17892	0.92097	134.85	17893
0.9	-1483.9	0.7852	-29.233	1484.2
0.91	8697.7	-0.55847	-100.24	8698.3
0.92	9244.7	-0.49602	-86.69	9245.2
0.93	8031.8	0.53087	-73.695	8032.1
0.94	8384.8	0.34147	-69.177	8385.1
0.95	3727.1	-0.49812	2.8865	3727.1
0.96	-11592	-0.42324	173.08	11594
0.97	-31429	5.8448e-002	346.24	31431
0.98	-40255	6.2909e-002	364.95	40257
0.99	-25764	-0.16906	145.62	25764
1.	9864.9	-0.14031	-236.26	9867.8

Material Data

13 API X65

TABLE 26
API X65 > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 27
API X65 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 28
API X65 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
4.48e+008

TABLE 29
API X65 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
4.48e+008

TABLE 30
API X65 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.3e+008

TABLE 31
API X65 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 32
API X65 > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0

1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 33
API X65 > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 34
API X65 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 35
API X65 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

14 Structural Steel

TABLE 36
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 37
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 38
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 39
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 40
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa

4.6e+008

TABLE 41
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 42
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 43
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 44
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 45
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

LAMPIRAN D
HASIL OUTPUT ANALISIS KEKUATAN
PIPA BAWAH LAUT

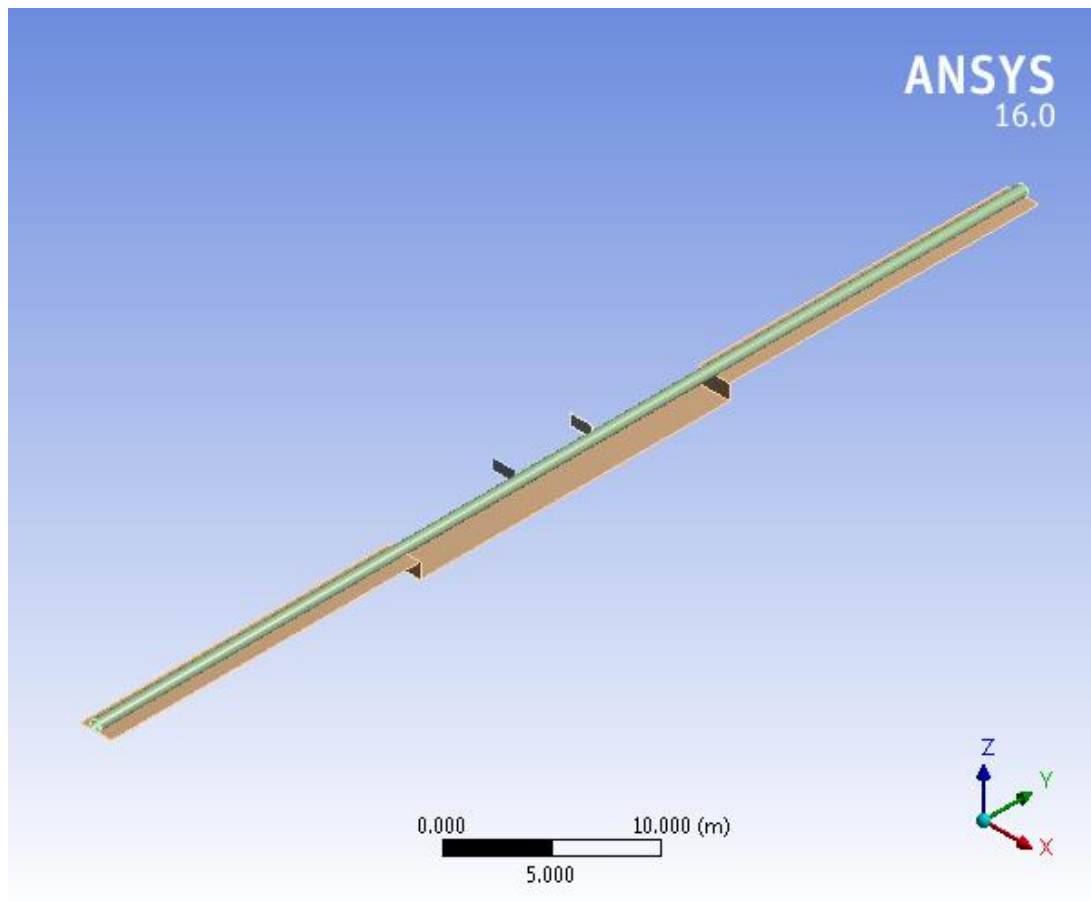
LAMPIRAN D

OUTPUT ANALISIS KEKUATAN PIPA BAWAH LAUT ANSYS STATIC STRUCTURAL



- Project

First Saved	Monday, January 16, 2017
Last Saved	Monday, January 16, 2017
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Construction Geometry](#)
 - [Path](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)
 - [API X65](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (C4)

8 Geometry

TABLE 2
Model (C4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\P3-Enggartyasto Haryoyudhanto\Static Analysis\pipeline response due trawlboard pullove_files\dp0\SYS-1\DM\SYS-1.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters

Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	2.8411 m
Length Y	60. m
Length Z	1.7048 m
Properties	
Volume	65.481 m ³
Mass	5.1403e+005 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	4
Active Bodies	4
Nodes	37150
Elements	6737
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode	No
Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\user\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Trawl Board 1</i>	<i>Trawl Board 2</i>	<i>Pipeline</i>	<i>Seabed</i>
State	Meshed			
Graphics Properties				

Visible	Yes		
Transparency	1		
Definition			
Suppressed	No		
Stiffness Behavior	Flexible		Rigid
Coordinate System	Default Coordinate System		
Reference Temperature	By Environment		
Thickness			0.5 m
Thickness Mode			Manual
Offset Type			Top
Material			
Assignment	Structural Steel	API X65	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
Bounding Box			
Length X	1.5 m	0.6604 m	2. m
Length Y	4.0039e-002 m	60. m	
Length Z	0.75 m	0.6604 m	1. m
Properties			
Volume	4.5044e-002 m³		3.3912 m³
Mass	353.59 kg		26621 kg
Centroid X	-1.0907 m		-1.8458e-004 m
Centroid Y	2.5 m	-2.5 m	1.6549e-005 m
Centroid Z	0.33011 m		0.33019 m
Moment of Inertia Ip1	18.597 kg·m²	30.92 kg·m²	7.9833e+006 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	21.314 kg·m²	111.87 kg·m²	2473.2 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	51.783 kg·m²	129.93 kg·m²	7.9831e+006 kg·m²
Surface Area(approx.)			124. m²
Statistics			
Nodes	44	35979	1083
Elements	3	6426	305
Mesh Metric	None		

TABLE 4
Model (C4) > Construction Geometry

Object Name	Construction Geometry
State	Fully Defined
Display	
Show Mesh	No

TABLE 5
Model (C4) > Construction Geometry > Paths

Object Name	<i>Path</i>
State	Fully Defined
Definition	
Path Type	Two Points
Path Coordinate System	Global Coordinate System
Number of Sampling Points	47.
Suppressed	No
Start	
Coordinate System	Global Coordinate System
Start X Coordinate	0.31578 m
Start Y Coordinate	-30. m
Start Z Coordinate	0.33019 m
Location	Defined
End	
Coordinate System	Global Coordinate System
End X Coordinate	0.31578 m
End Y Coordinate	30. m
End Z Coordinate	0.33019 m
Location	Defined

9 Coordinate Systems

TABLE 6
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

10 Connections

TABLE 7
Model (C4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes

Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 8
Model (C4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	0.15023 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	3
Active Connections	3

TABLE 9
Model (C4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Frictional - Pipeline To Seabed
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Contact	1 Face		2 Faces
Target	1 Face		2 Faces
Contact Bodies	Trawl Board 1	Trawl Board 2	Pipeline
Target Bodies	Pipeline		Seabed
Target Shell Face			Top
Shell Thickness Effect			No
Definition			
Type	Bonded		Frictional
Scope Mode	Automatic		
Behavior	Program Controlled		
Trim Contact	Program Controlled		
Trim Tolerance	0.15023 m		
Suppressed	No		

Friction Coefficient		0.5
Advanced		
Formulation	Program Controlled	
Detection Method	Program Controlled	
Penetration Tolerance	Program Controlled	
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled	
Normal Stiffness	Program Controlled	
Update Stiffness	Program Controlled	
Pinball Region	Program Controlled	
Stabilization Damping Factor		0.
Time Step Controls		None
Geometric Modification		
Contact Geometry Correction	None	
Target Geometry Correction	None	
Interface Treatment		Add Offset, No Ramping
Offset		0. m

11 Mesh

TABLE 10
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Curvature
Use Fixed Size Function For Sheets	No
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Curvature Normal Angle	Default (30.0 °)
Min Size	Default (0.104420 m)
Max Face Size	Default (0.522110 m)
Max Size	Default (0.522110 m)
Growth Rate	Default
Minimum Edge Length	4.e-002 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None

Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Rigid Face Mesh Type	Quad/Tri
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (9.398e-002 m)
Generate Pinch on Refresh	No
Sheet Loop Removal	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (7.8317e-002 m)
Statistics	
Nodes	37150
Elements	6737
Mesh Metric	None

Static Structural (C5)

TABLE 11
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Unsymmetric
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\P3-Enggartyasto Haryoyudhanto\Static Analysis\pipeline response due trawlboard pullove_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files	

Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 13
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	Hydrostatic Pressure	Internal Design Pressure	Pipeline Added Mass	Fixed Support	Displacement	Pullover Force 1	Pullover Force 2
State	Fully Defined						
Scope							
Scoping Method	Geometry Selection						
Geometry	1 Face			2 Faces		1 Face	
Definition							
Type	Pressure		Force	Fixed Support	Displacement	Force	
Define By	Normal To		Components		Components		
Magnitude	4.5249e+005 Pa (ramped)	1.2e+007 Pa (ramped)					
Suppressed	No						
Coordinate System			Global Coordinate System		Global Coordinate System		
X Component			0. N (ramped)		Free	54985 N (ramped)	
Y Component			0. N (ramped)		0. m (ramped)	0. N (ramped)	
Z Component			-7883.4 N (ramped)		0. m (ramped)	0. N (ramped)	

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Hydrostatic Pressure

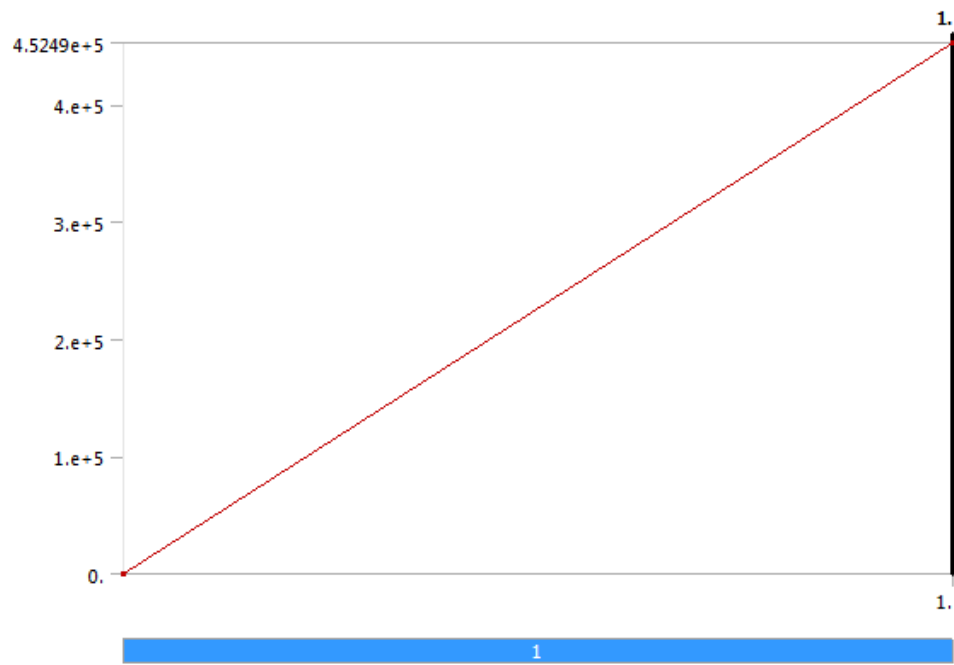


FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Internal Design Pressure

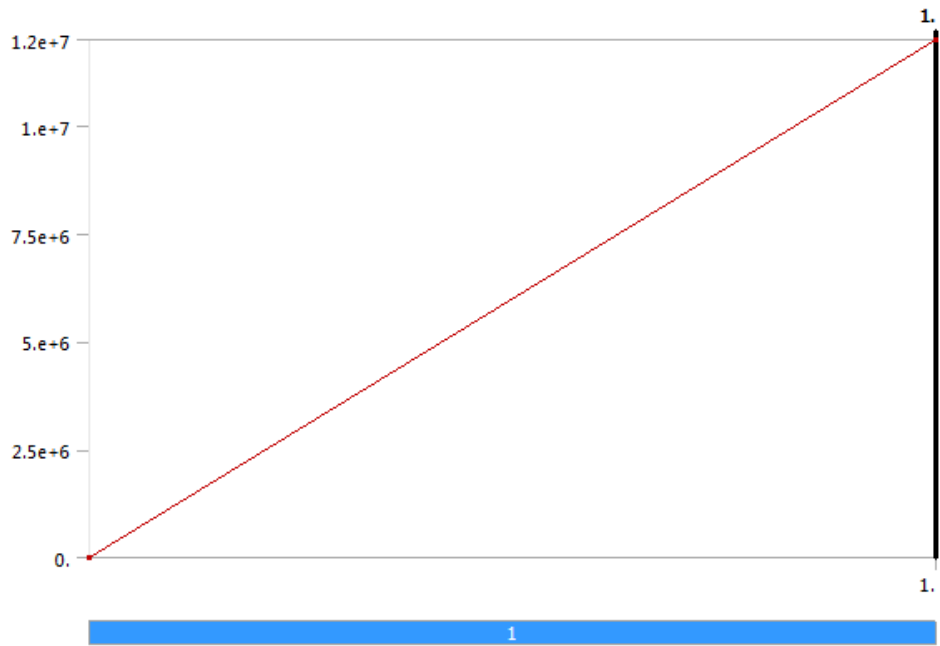


FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Pipeline Added Mass

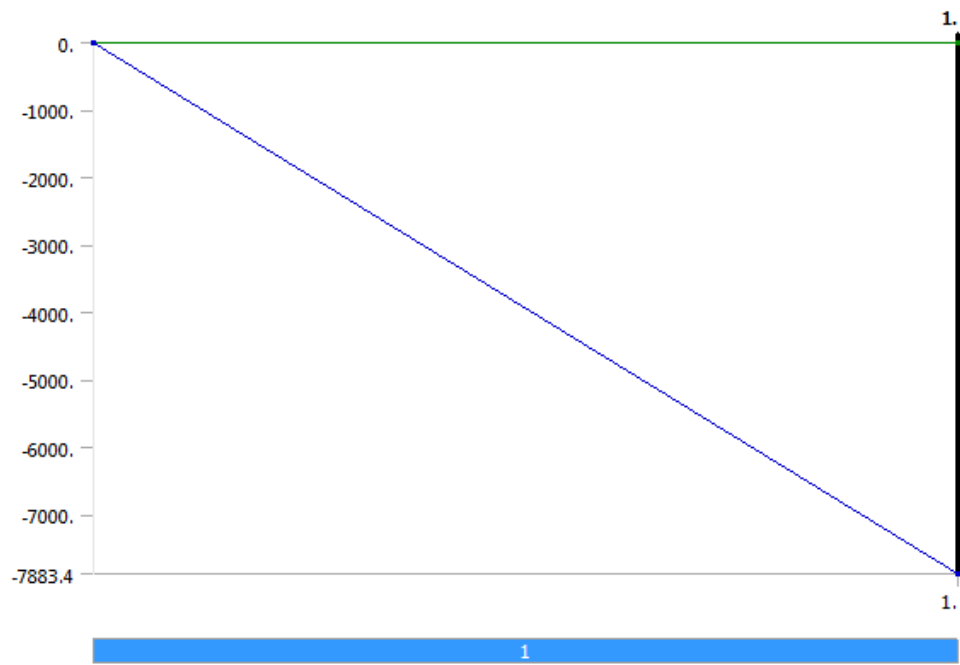


FIGURE 4
Model (C4) > Static Structural (C5) > Displacement

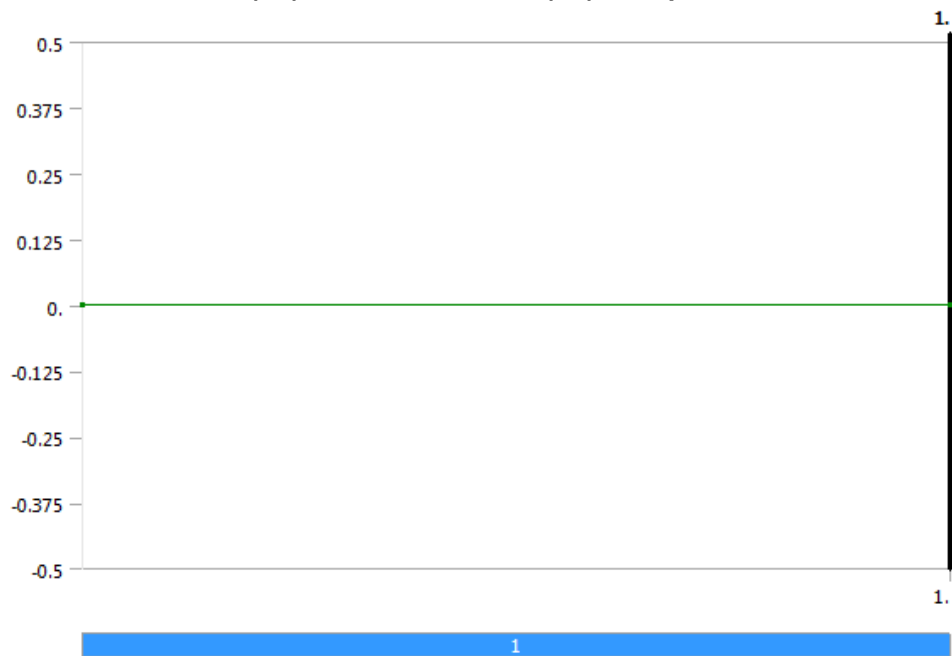


FIGURE 5
Model (C4) > Static Structural (C5) > Pullover Force 1

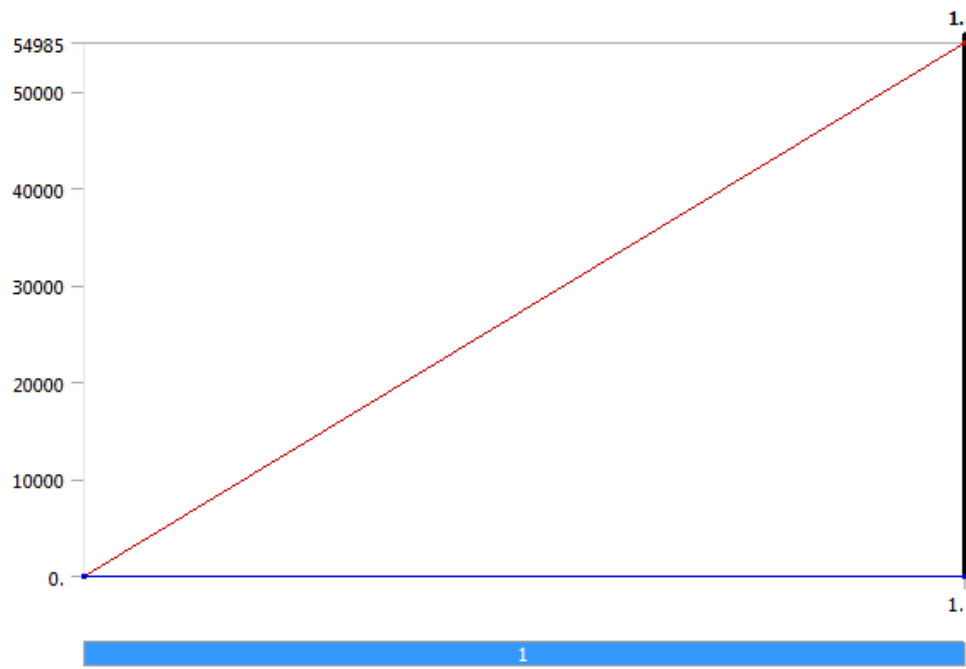
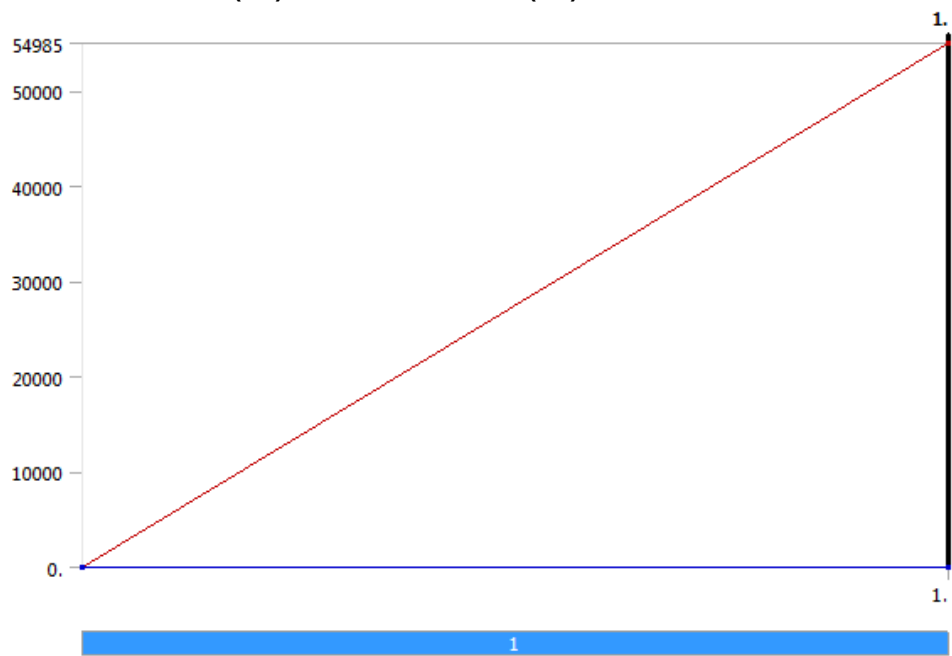


FIGURE 6
Model (C4) > Static Structural (C5) > Pullover Force 2



12 Solution (C6)

TABLE 14
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done
Post Processing	
Calculate Beam Section Results	No

TABLE 15
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Directional Deformation</i>	<i>Directional Deformation 2</i>	<i>Equivalent Elastic Strain</i>
State	Solved			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection		Path	Geometry Selection
Geometry	1 Body		All Bodies	1 Body
Path			Path	
Definition				
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Directional Deformation		Equivalent Elastic Strain
By	Time			
Display Time	Last			

Calculate Time History	Yes			
Identifier				
Suppressed	No			
Orientation		X Axis		
Coordinate System		Global Coordinate System		
Integration Point Results				
Display Option	Averaged		Averaged	
Average Across Bodies	No		No	
Results				
Minimum	3.5451e+007 Pa	-1.2326e-004 m	-2.3287e-008 m	1.7759e-004 m/m
Maximum	2.0608e+008 Pa	0.20941 m	0.2094 m	1.037e-003 m/m
Minimum Occurs On			Pipeline	
Maximum Occurs On			Pipeline	
Minimum Value Over Time				
Minimum	7.0902e+006 Pa	-1.2326e-004 m	-2.3287e-008 m	3.5519e-005 m/m
Maximum	3.5451e+007 Pa	-2.4652e-005 m	-4.6573e-009 m	1.7759e-004 m/m
Maximum Value Over Time				
Minimum	4.1217e+007 Pa	4.1881e-002 m	4.188e-002 m	2.0739e-004 m/m
Maximum	2.0608e+008 Pa	0.20941 m	0.2094 m	1.037e-003 m/m
Information				
Time	1. s			
Load Step	1			
Substep	4			
Iteration Number	6			
Graph Controls				
X-Axis			S	

FIGURE 7
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

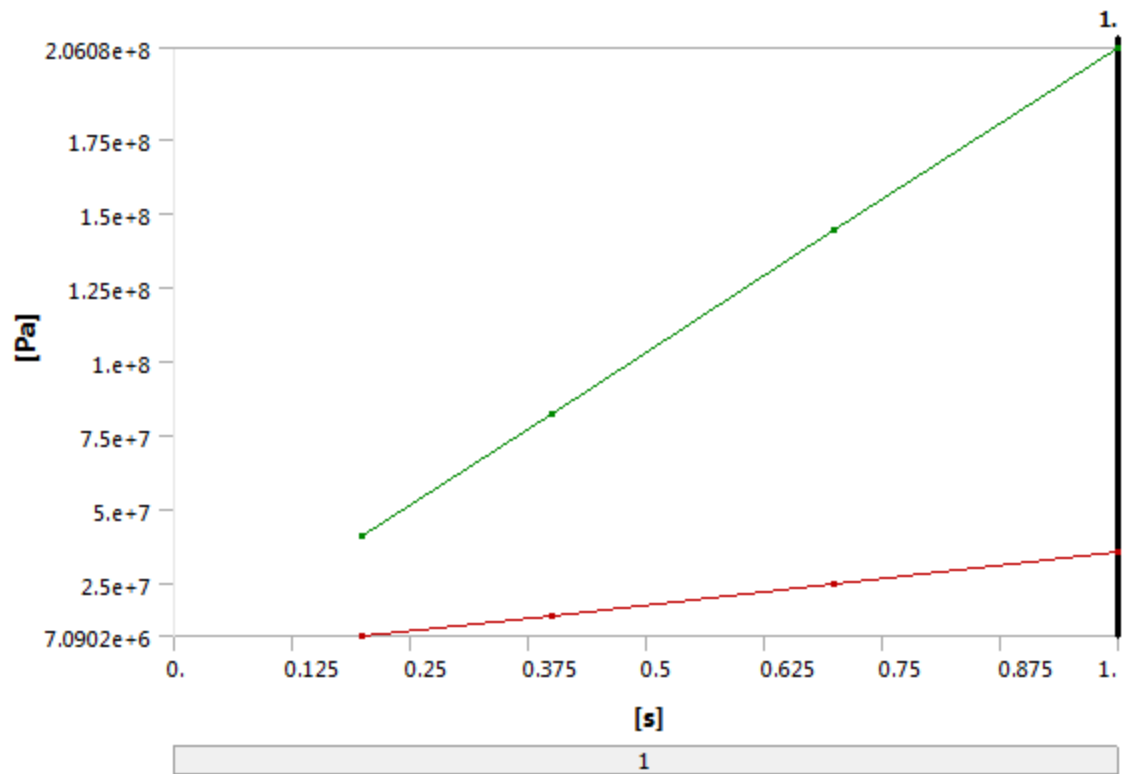


TABLE 17
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
0.2	7.0902e+006	4.1217e+007
0.4	1.418e+007	8.2434e+007
0.7	2.4815e+007	1.4426e+008
1.	3.5451e+007	2.0608e+008

FIGURE 8
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Directional Deformation

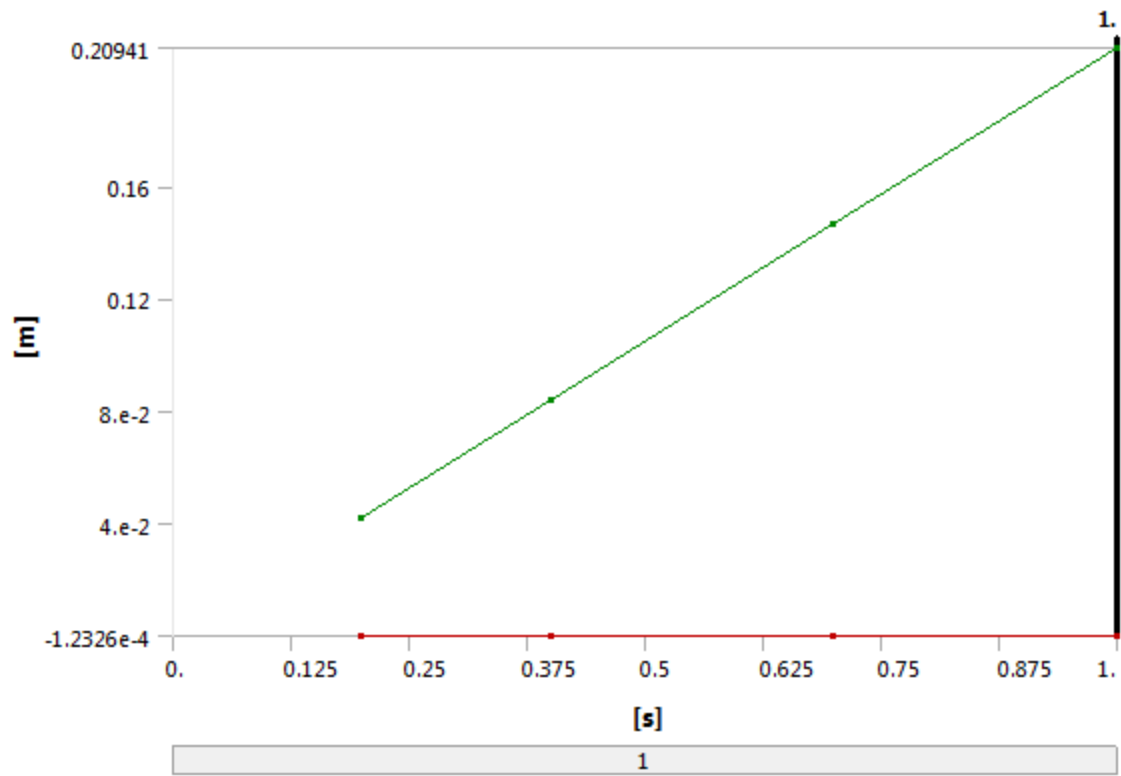


TABLE 18
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Directional Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]
0.2	-2.4652e-005	4.1881e-002
0.4	-4.9305e-005	8.3762e-002
0.7	-8.6283e-005	0.14658
1.	-1.2326e-004	0.20941

FIGURE 9
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Directional Deformation 2

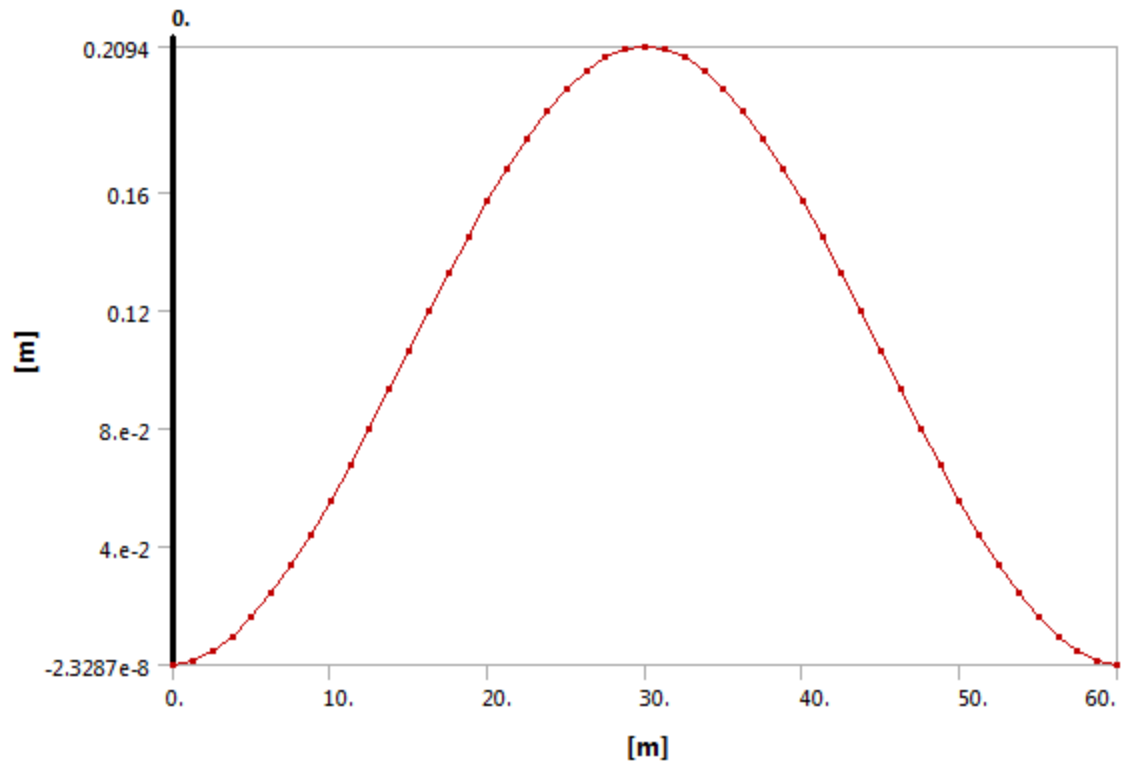


TABLE 19
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Directional Deformation 2

Length [m]	Value [m]
0.	2.3405e-008
1.25	1.3057e-003
2.5	4.4333e-003
3.75	9.4117e-003
5.	1.6051e-002
6.25	2.4165e-002
7.5	3.3565e-002
8.75	4.4063e-002
10.	5.5473e-002
11.25	6.7606e-002
12.5	8.0276e-002
13.75	9.3294e-002
15.	0.10647
16.25	0.11963
17.5	0.13257
18.75	0.1451
20.	0.15705
21.25	0.16822

22.5	0.17843
23.75	0.18749
25.	0.1952
26.25	0.20139
27.5	0.20586
28.75	0.20852
30.	0.2094
31.25	0.20852
32.5	0.20586
33.75	0.20139
35.	0.1952
36.25	0.18749
37.5	0.17843
38.75	0.16822
40.	0.15705
41.25	0.1451
42.5	0.13257
43.75	0.11963
45.	0.10647
46.25	9.3295e-002
47.5	8.0276e-002
48.75	6.7607e-002
50.	5.5473e-002
51.25	4.4063e-002
52.5	3.3565e-002
53.75	2.4165e-002
55.	1.6051e-002
56.25	9.4117e-003
57.5	4.4331e-003
58.75	1.3056e-003
60.	-2.3287e-008

FIGURE 10
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Elastic Strain

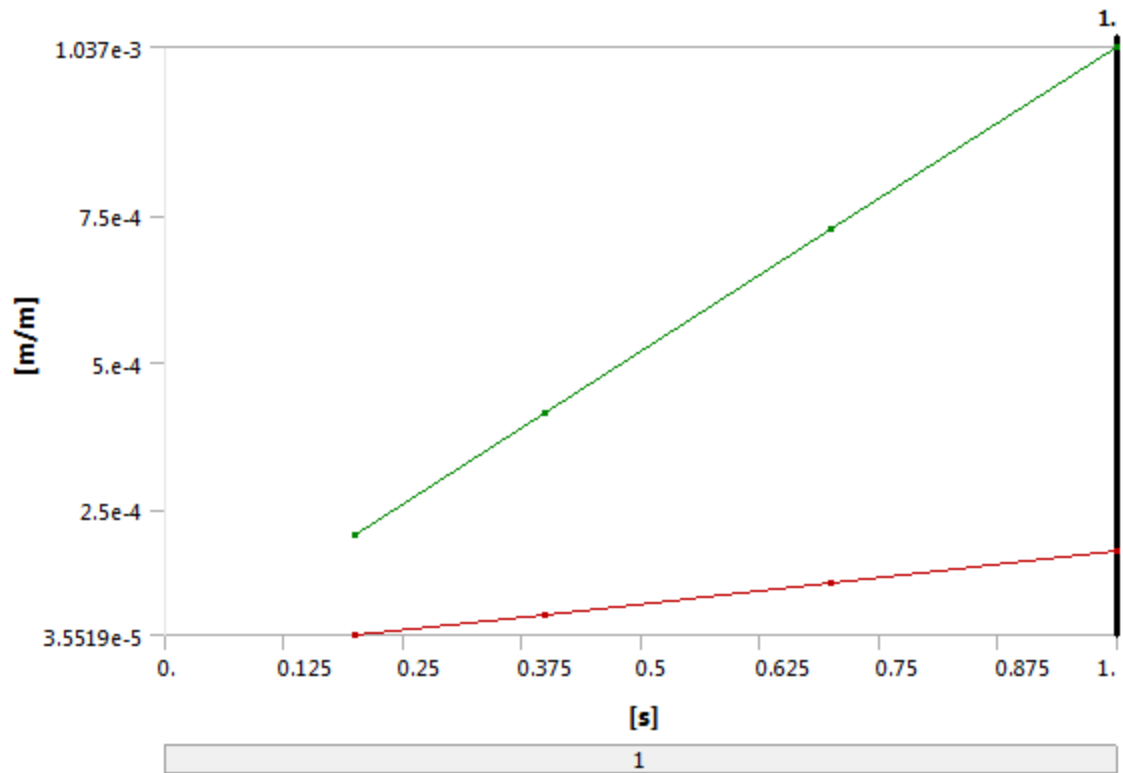


TABLE 20
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Elastic Strain

Time [s]	Minimum [m/m]	Maximum [m/m]
0.2	3.5519e-005	2.0739e-004
0.4	7.1037e-005	4.1479e-004
0.7	1.2431e-004	7.2588e-004
1.	1.7759e-004	1.037e-003

Material Data

13 Structural Steel

TABLE 21
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 22
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 23
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 24
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 25
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 26
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 27
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0

2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 28
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 29
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 30
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

14 API X65

TABLE 31
API X65 > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 32
API X65 > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 33
API X65 > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
4.48e+008

TABLE 34
API X65 > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
4.48e+008

TABLE 35
API X65 > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
5.3e+008

TABLE 36
API X65 > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 37
API X65 > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 38
API X65 > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 39
API X65 > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 40
API X65 > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Enggartyasto Haryoyudhanto lahir di Serang pada tanggal 17 Mei 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis mempunyai orang tua yang bernama Adi Sunaryo dan Dyah Probosari. Selain itu, penulis mempunyai adik yang bernama Satrio Haryo Prakoso dan Nadira Siti Nurfajrina. Selama ini penulis bertempat tinggal di Jl. Galunggung A8/17 Sarua Permai, Ciputat, Tangerang Selatan, Banten. Pada jenjang taman kanak-kanak, penulis bersekolah di TK Tadika Puri Jakarta.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan jenjang sekolah dasar di Madrasah Ibtidaiyah UIN Jakarta. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan jenjang menengah pertama dan menengah atas di Madrasah Tsanawiyah UIN Jakarta dan SMA Plus Pembangunan Jaya. Selama di SMA Plus Pembangunan Jaya, penulis aktif dalam kegiatan ekstrakurikuler Paskibra. Penulis juga berkesempatan mewakili SMA Plus Pembangunan Jaya sebagai Paskibra bendera pusaka tingkat Kota Tangerang Selatan. Setelah lulus, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Tahun 2012. Selama mahasiswa penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan dan organisasi mahasiswa. Salah satunya, penulis pernah mengikuti kepanitiaan OCEANO 2016, terdaftar sebagai staff di Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS. Dan Penulis juga merupakan anggota aktif Laboratorium Perencanaan dan Konstruksi Bangunan Laut. Penulis juga pernah menjalani kerja praktek selama 2 bulan di PT. Gunanusa Utama Fabricators pada tahun 2016. Pada tahun terakhir penulis mengambil tugas akhir dalam bidang perencanaan dan perancangan pipa bawah laut. Judul tugas akhir penulis adalah Analisis Kekuatan Pipa Bawah Laut Terhadap Tarikan Pukat. Selama pengerjaan tugas akhir tersebut, penulis dibimbing oleh Bapak Ir. Imam Rochani M.Sc. dan Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.